

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Caracterização da mobilidade da população da FCUL e avaliação do potencial para redução de emissões

Henrique Calheiros

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente

Dissertação orientada sob a supervisão de:
Prof.^a Dra. Carla Silva (FCUL)

2020

“Everything is possible. The impossible just takes longer.”
- Dan Brown

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer à minha orientadora, Professora Carla Silva, por todo o apoio, paciência, dedicação e conselhos transmitidos. Também, por nunca ter desistido de me ajudar e estar sempre presente quando precisei.

Obrigado também aos docentes de Mestrado em Engenharia Energia e Ambiente, pela disponibilidade na realização do inquérito, em especial ao Professor Pedro Nunes.

A todos os meus amigos, em especial ao André Tai, pela força e motivação que sempre me transmitiram para elaboração deste projeto.

O meu mais sincero e profundo agradecimento a todos aqueles que deram um pouco do seu tempo para me ajudar e motivar.

Agradeço também à Cristina Vigário por toda a sua preocupação e apoio.

Por último, mas muito importante, à minha família, pai, mãe e ao meu irmão Guilherme, pelo amor, apoio incondicional e constante encorajamento que nos momentos de desânimo nunca me deixaram desistir ao longo destes anos. A eles dedico este trabalho!

A todos obrigado por permitirem que esta tese seja uma realidade.

Resumo

Nos dias que correm, a mobilidade dos cidadãos é uma necessidade cada vez mais recorrente e praticamente um dado adquirido, principalmente nos grandes centros urbanos. As viagens diárias durante a semana são na sua maioria associadas às deslocações pendulares casa-trabalho/trabalho-casa e ainda é muito frequente a utilização do meio de transporte particular (carro). Deste modo, torna-se indispensável a promoção de uma mobilidade sustentável, de forma a reduzir os impactos ambientais, económicos e sociais, que estão associados a uma mobilidade cada vez mais intensa. O estudo dos padrões de mobilidade das populações é um ponto de partida importante e necessário à averiguação de diversas questões, entre elas o nível de emissões de CO₂ (Dióxido de carbono) e outras emissões de poluentes regulados tais como CO (Monóxido de carbono), NO_x (Óxidos de azoto), PM (Matéria particulada) e COVNM (Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos), que permitirá elaborar propostas de melhoria. Com o intuito de dar resposta a estas questões, este estudo desenvolveu-se através da realização de inquéritos à população do campus da FCUL. Apesar de ser um universo de pequenas dimensões - cerca de 6 000 pessoas, incluindo docentes/investigadores e estudantes - comparativamente à população nacional (cerca de 10 milhões de pessoas, das quais 7 milhões com idades compreendidas entre os 15 e os 65 anos), é um bom suporte para estudos futuros de pegada carbónica do campus FCUL, demonstrando a aplicabilidade de alguns métodos para estudos de maior amplitude.

Nos inquéritos realizados obteve-se uma taxa de resposta de cerca de 10% e concluiu-se que o grupo dos professores e investigadores utilizam essencialmente o carro particular para as suas deslocações diárias. Observou-se que nenhum indivíduo transporta 4 passageiros, isto é, nunca preenche a lotação do veículo, tendo assim sido obtida uma taxa média de ocupação de passageiros por carro de 1,34. Os alunos utilizam maioritariamente os transportes públicos para as suas deslocações multimodais, principalmente o transporte metropolitano. As deslocações pendulares casa-FCUL, para o ano de 2017 foram responsáveis por 411 toneladas de CO₂.

Palavras-Chave: Mobilidade Sustentável; Emissões; Padrões de Mobilidade; Inquéritos.

Abstract

Nowadays, citizens' mobility is a progressively recurring need and practically a given, especially in large urban centers. During the week, the daily trips are mostly related to commuting from home to work, and so far, the use of private means of transport is still very common. Thus, it is essential to promote sustainable mobility, in order to reduce environmental, economic and social impacts, which are related to an increasingly intense mobility. The analysis of the population mobility standards is an important starting point and necessary to investigate several issues, for instance the level of CO₂ (Carbon dioxide) and other controlled pollutants emissions such as CO (Carbon monoxide), NO_x (Nitrogen oxide), PM (Particulate matter) and NMVOC (Non-methane volatile organic compound). This will allow the elaboration of improvement studies, through the development of surveys to the FCUL campus population. Despite being a small universe, about 6 000 people (including professors/researchers and students), comparing to the national population, approximately 10 million inhabitants, from which 7 million are between 15 and 65 years old, it is an acceptable basis for future studies of the FCUL campus' carbon footprint, exposing the applicability of some methods for larger studies.

By the surveys conducted, with a response rate of around 10%, it's possible to conclude that the teachers and researchers group primarily use the private car for their daily trips. Moreover, no driver carried 4 passengers, in other words, the vehicle was never entirely full, with an average passenger occupancy rate per car of 1,34. In other hand, the student's group, predominately used public transport for their daily trips, mainly by the underground railway system.

The commuting trips home-FCUL, in the year 2017, were responsible for 411 tons of CO₂.

Keywords: Sustainable Mobility; Emissions; Mobility Standards; Surveys.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Índice de Tabelas.....	viii
Índice de gráficos	ix
Índice de figuras	x
Simbologia e Notações.....	xi
1. Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	3
2. Capítulo 2 – Fundamentos Teóricos.....	4
2.1 Mobilidade Sustentável	4
2.2 Alternativas de Mobilidade Sustentável.....	5
2.3 Planos de Mobilidade Sustentável.....	7
2.4 Principais emissões atmosféricas	10
2.5 Consumo de energia.....	14
2.6 Emissões gerais em Portugal e União Europeia	15
2.7 Cálculo de emissões: <i>Tiers</i>	17
2.8 COPERT V.....	18
2.9 Emissões no ciclo de vida	21
2.10 Índice de motorização	22
2.11 Estado da Arte	23
3. Capítulo 3 – Métodos	25
3.1 Caracterização geográfica da AML.....	25
3.2 Sistemas de Transporte na AML	26
3.3 Caracterização dos padrões de mobilidade	26
3.4 Caracterização do Inquérito	27
3.5 Caracterização da amostra.....	27
3.6 Métodos numéricos - Caracterização energética e ambiental	29
3.6.1 Emissões <i>Tier 1</i>	29
3.6.2 Emissões <i>Tier 2</i>	32
3.6.3 Emissões <i>Tier 3</i>	36
3.6.4 Cálculo de dióxido de carbono CO ₂	38
3.6.5 Avaliação de consumos energéticos.....	39
4. Capítulo 4 – Resultados.....	42
4.1 Análise dos inquéritos do campus da FCUL.....	42
4.2 Distâncias por meio de transporte	54
4.3 Emissões do campus.....	57
4.4 Consumo energético total.....	60

4.5	Impacto global	61
4.6	Comparação de indicadores com outros institutos	62
4.7	Cenários Alternativos	65
5.	Capítulo 5 - Discussão de resultados.....	69
6.	Capítulo 6 – Proposta de melhoria do sistema para uma mobilidade sustentável.....	74
6.1	Campus FCUL	74
6.2	Operadores de transportes rodoviários	75
6.3	Câmara Municipal de Lisboa	76
7.	Capítulo 7 - Conclusão.....	78
	Referências Bibliográficas	81
	Anexos.....	84

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Cenários alternativos com os respetivos tamanhos de amostra (variação da margem de erro).....	28
Tabela 3.2 - Fator de emissão para os diversos tipos de poluentes de veículos convencionais (g/kg combustível).....	30
Tabela 3.3 - Massa volúmica e poder calorífico inferior dos combustíveis convencionais.	30
Tabela 3.4 - Fatores de emissão (g/km) para os tipos de combustíveis convencionais (valores combinados).	30
Tabela 3.5 - Fator de emissão para os diversos poluentes em g/kg de combustível.	31
Tabela 3.6 - Consumo energético (MJ/pkm) e consumo de combustível (kg/pkm).....	31
Tabela 3.7 - Massa volúmica, poder calorífico inferior do gasóleo marítimo e respetivo consumo.31	
Tabela 3.8 - Fator de emissão <i>Tier</i> 1 para os diversos tipos de poluentes em g/kg de combustível. 32	
Tabela 3.9 - Resumo de classes de veículos abrangidos pela metodologia <i>Tier</i> 2.....	33
Tabela 3.10 - Fatores de emissão relativos a veículos a gasóleo quanto à legislação e classe (g/km).	34
Tabela 3.11 - Fatores de emissão relativos a veículos a gasolina quanto à legislação e classe (g/km).	34
Tabela 3.12 - Fatores de emissão dos poluentes associado a veículos a GPL (g/km).....	35
Tabela 3.13 - Fatores de emissão dos poluentes associado a veículos híbridos (g/km).	35
Tabela 3.14 - Fatores de emissão para motociclos a gasolina(g/km).	35
Tabela 3.15 - Fator de emissão <i>Tier</i> 2 para os diversos tipos de poluentes para autocarros “standard” (g/km).	35
Tabela 3.16 - Fator de emissão <i>Tier</i> 2 para os diversos tipos de poluentes em g/kg de combustível.	36
Tabela 3.17 – Amplitudes térmicas, humidade e pressão de vaporização [72][73].	37
Tabela 3.18 - Fator de emissão (g/g combustível) relativo a cada tipo de combustível.....	38
Tabela 3.19 - Fator de emissão (gCO ₂ /km) utilizado de acordo com o respetivo combustível.	38
Tabela 3.20 - Dados retirados do relatório de sustentabilidade da Carris para o ano de 2017 [66]. 39	
Tabela 3.21 - Megajoule por passageiro/quilómetro para os respetivos combustíveis.	40
Tabela 3.22 - Unidades utilizadas para o cálculo do consumo energético.	40
Tabela 3.23 - Eficiência energética para o meio de transporte metropolitano.	41
Tabela 4.1 - Número de utilizadores e caracterização das distâncias percorridas pelo transporte pedonal.	54
Tabela 4.2 - Número de utilizadores e caracterização das distâncias percorridas pelas bicicletas. .	55
Tabela 4.3 - Número de veículos e caracterização das distâncias percorridas pelos veículos convencionais.	55
Tabela 4.4 - Número de utilizadores e caracterização das distâncias percorridas de veículos a GPL.	55
Tabela 4.5 - Número de veículos e caracterização das distâncias percorridas por veículos híbridos.	55
Tabela 4.6 - Número de veículos e caracterização das distâncias percorridas por motociclos.	55
Tabela 4.7 - Caracterização das distâncias realizadas pelos inquiridos que utilizam autocarro.	56
Tabela 4.8 - Caracterização das distâncias percorridas pelo transporte fluvial.....	56
Tabela 4.9 - Caracterização das distâncias percorridas pelo comboio.	56
Tabela 4.10 - Caracterização das distâncias percorridas pelo meio de transporte – metro.	57
Tabela 4.11 - Emissões anuais para cada tipo de poluente e <i>Tier</i> correspondente para veículos a gasolina (toneladas/ano).....	58
Tabela 4.12 - Emissões anuais para cada tipo de poluente e <i>Tier</i> correspondente para veículos a gasóleo (toneladas/ano).....	58
Tabela 4.13 - Emissões anuais para cada tipo de poluente e <i>Tier</i> correspondente para veículos híbridos (gramas/ano).....	58
Tabela 4.14 - Emissões anuais para cada tipo de poluente e <i>Tier</i> correspondente a motociclos (gramas/ano).....	58

Tabela 4.15 - Emissões anuais para cada tipo de poluente e <i>Tier</i> correspondente para veículos a GPL (gramas/ano).....	58
Tabela 4.16 - Emissões anuais para cada tipo de poluente e <i>Tier</i> correspondente aos autocarros (toneladas/ano).	58
Tabela 4.17 - Emissões anuais para cada tipo de poluente e <i>Tier</i> correspondente ao transporte fluvial (Trantejo) (toneladas/ano).	59
Tabela 4.18 - Valores totais de CO ₂ e em média por pessoa num ano (toneladas/ano).	59
Tabela 4.19 - Total de toneladas de CO ₂ por passageiro km num ano e por utilizador (tonelada/ano).	59
Tabela 4.20 - Energia total usada e por pessoa num ano (MJ/ano).	60
Tabela 4.21 - Energia total usada pela população e por utilizador da FCUL num ano, para os respetivos transportes públicos.....	61
Tabela 4.22 - Emissões anuais de todos os inquiridos para os diferentes poluentes dividido pelos respetivos <i>Tiers</i> (toneladas/ano).....	62
Tabela 4.23 - Emissões anuais de dióxido de carbono de todos os inquiridos (toneladas/ano).	62
Tabela 4.24 - Emissões anuais para população total do campus da FCUL (cenário) (toneladas/ano).	62
Tabela 4.25 - Emissões anuais para população total do campus da FCUL (cenário) (toneladas/ano).	62
Tabela 4.26 - Emissões resultantes dos inquiridos do IST (toneladas/ano) [55].....	63
Tabela 4.27 - Emissões resultantes do IST com os mesmos dados desta dissertação (toneladas/ano).	63
Tabela 4.28 - Emissões por pessoa para 221 dias para o campus da FCUL (dividido por <i>Tiers</i>) e IST (kg/ano).	64
Tabela 4.29 - Emissão total e <i>per capita</i> de CO ₂ num ano para os diferentes institutos (tonelada/ano).	65
Tabela 4.30 - Emissões de poluentes (kg/ <i>percapita</i>) assumindo renovação de frota de ambos os transportes (Euro V) durante o ano letivo.	66
Tabela 4.31 - Emissões de poluentes (kg/ <i>percapita</i>) assumindo redução de frota por <i>carpooling</i> e transporte coletivo (Euro III) durante o ano letivo (Cenário 2.1).....	66
Tabela 4.32 - Emissões de poluentes (kg/ <i>percapita</i>) assumindo uma redução de frota por <i>carpooling</i> e transporte coletivo (Euro V) durante o ano letivo (Cenário 2.2).	66
Tabela 4.33 - Emissões de poluentes (kg/ <i>percapita</i>) assumindo que 50% dos inquiridos passa a utilizar autocarro (Euro III) durante o ano letivo (Cenário 3.1).	67
Tabela 4.34 - Emissões de poluentes (kg/ <i>percapita</i>) assumindo que 100% dos inquiridos passa a utilizar autocarro (Euro III) durante o ano letivo (Cenário 3.2).	67

Índice de gráficos

Gráfico 2.1 - Emissões globais de gases efeito de estufa baseado no ano de 2010.....	14
Gráfico 2.2 - Consumo médio de energia final por setor na UE - 28 para o ano de 2017.	15
Gráfico 2.3 - Emissões médias dos novos veículos ligeiros para Portugal e UE-27 para cada ano, com respetivas metas (gCO ₂ /km).	16
Gráfico 4.1 - Distribuição da população inquirida por género.	42
Gráfico 4.2 - Faixa etária dos inquiridos.	43
Gráfico 4.3 - Função desempenhada no campus da FCUL.....	43
Gráfico 4.4 - Nível académico dos alunos inquiridos.	44
Gráfico 4.5 - Departamento dos inquiridos.	44
Gráfico 4.6 - Concelho de residência dos inquiridos.	45
Gráfico 4.7 - Dimensão do agregado familiar.	45
Gráfico 4.8 - Número de veículos por agregado familiar.....	46
Gráfico 4.9 - Número de ocupantes por veículo.	46
Gráfico 4.10 - Hora de chegada dos inquiridos ao campus da FCUL.	47

Gráfico 4.11 - Hora de saída dos inquiridos do campus da FCUL.....	47
Gráfico 4.12 e 4.13 – Maior frequência do meio de transporte mais utilizado e transporte público mais utilizado.	48
Gráfico 4.14 - Meio de deslocação em relação à função na FCUL.....	48
Gráfico 4.15 - Meio de transporte de aluno em relação ao nível académico.	49
Gráfico 4.16 - Meio de deslocação em relação à residência.	49
Gráfico 4.17 - Escalão dos inquiridos.	50
Gráfico 4.18 - Escalão dos inquiridos em relação ao meio de transporte.	50
Gráfico 4.19 - Avaliação dos transportes públicos em relação à satisfação.....	51
Gráfico 4.20 - Disposição dos veículos por tipo de combustível.....	51
Gráfico 4.21 - Distribuição dos veículos a gasolina pela sua cilindrada.....	52
Gráfico 4.22 - Distribuição dos veículos a gasóleo pela sua cilindrada.	52
Gráfico 4.23 - Predisposição à utilização do sistema <i>carpooling</i>	52
Gráfico 4.24 - Predisposição à utilização do sistema <i>carsharing</i>	53
Gráfico 4.25 - Predisposição à utilização do sistema <i>bikesharing</i>	53
Gráfico 4.26 - Disposição para comprar um veículo elétrico.....	53
Gráfico 4.27 e 4.28 - Disposição para comprar e ser transportado por um veículo autónomo.	54
Gráfico 4.29 - Distâncias média por pessoa em quilómetros por dia (km/dia).	57
Gráfico 4.30 - Emissões de CO ₂ <i>per capita</i> para os transportes públicos e automóvel individual (gasolina e gasóleo) (toneladas/ano).	60
Gráfico 4.31 - Energia usada por usuário para os transportes públicos e automóvel individual (gasolina e gasóleo) (MJ/ano).	61
Gráfico 4.32 - Comparação das emissões de poluentes (CO, NO _x) (toneladas por ano).	63
Gráfico 4.33 e 4.34 - Comparação das emissões de poluentes (N ₂ O, NH ₃ , Pb, COVNM e PM _{2,5}) (toneladas por ano).....	63
Gráfico 4.35 - Comparação das emissões dos poluentes (CO e NO _x) entre os <i>Tiers</i> (FCUL) e IST <i>per capita</i> (kg/ano)	64
Gráfico 4.36 - Comparação das emissões dos poluentes (COVNM, N ₂ O e PM _{2,5}) entre os <i>Tiers</i> (FCUL) e IST <i>per capita</i> (kg/ano).	64
Gráfico 4.37 - Comparação das emissões de CO ₂ <i>per capita</i> num ano (toneladas/ano).	65
Gráfico 4.38 - Comparação entre os vários cenários para os respetivos poluentes CO e NO _x (kg/ <i>per capita</i>) num ano.....	67
Gráfico 4.39 - Comparação entre os vários cenários para os respetivos poluentes COVNM e PM _{2,5} (kg/ <i>per capita</i>) num ano.....	68
Gráfico 4.40 - Comparação entre os vários cenários para os respetivos poluentes N ₂ O, NH ₃ e Pb (kg/ <i>per capita</i>) num ano.....	68
Gráfico 6.1 – Local de estacionamento dos inquiridos da FCUL.	77

Índice de figuras

Figura 2.1 - Três categorias de instrumentos para uma gestão saudável.....	8
Figura 2.2 - Emissões primárias e secundárias.....	10
Figura 2.3 - Organograma para melhor escolha do método ideal.	18
Figura 2.4 - Resumo dos pontos fortes na utilização do <i>software</i> COPERT, versão V.	19
Figura 2.5 - Cronograma dos vários <i>inputs</i> do COPERT V.....	20
Figura 2.6 - Ciclo de vida do combustível.	21
Figura 2.7 - Índice de motorização entre 1995 e 2009 medido em veículos por mil habitantes.	22
Figura 3.1 - Distribuição dos concelhos da área metropolitana de Lisboa.....	25
Figura 6.1 - Área de atuação das empresas de <i>carsharing</i>	76

Simbologia e Notações

μm	Micrómetro
ACP	Automóvel Club de Portugal
ADVISOR	Advanced Vehicle Simulator
AEA	Agência Europeia do Ambiente (European Environment Agency)
AML	Área Metropolitana de Lisboa
BRT	Bus Rapid Transit
CH_4	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO_2	Dióxido de Carbono
COP	Conferências das Nações Unidas
COPERT	Computer program to calculate emissions from road transport
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos
CP	Comboios de Portugal
Defra	Department for Environment, Food and Rural Affairs
DBA	Departamento de Biologia Animal
DBV	Departamento de Biologia Vegetal
DEGGE	Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia
DEIO	Departamento de Estatística e Investigação Operacional
DI	Departamento de Informática
DQB	Departamento de Química e Bioquímica
EMEP	Cooperative Program for Monitoring Air Pollution in Europe
EUA	Estados Unidos da América
FCUL	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GEE	Gases de efeito de estufa
Gep	Gramas equivalentes de petróleo
H_2O_2	Peróxido de hidrogénio
H_2S	Ácido Sulfídrico
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
HNO_3	Ácido Nítrico
HC	Hidrocarbonetos
IST	Instituto Superior Técnico
ITS	Sistemas de Transporte Inteligente
kWh	Unidade de energia elétrica (significa Quilowatt-hora)
LAT	Laboratory of Applied Thermodynamics
N_2O	Óxido Nitroso
NH_3	Amoníaco
NO	Monóxido de Azoto
NO_3^-	Nitratos
NO_x	Óxidos de Azoto
NS/NR	Não sabe/Não responde
O_3	Ozono
Pb	Chumbo
PIB	Produto Interno Bruto
PM	Matéria particulada
$\text{PM}_{2.5}$	Matéria particulada com diâmetro igual ou inferior a 2.5 μm
PM_{10}	Matéria particulada com diâmetro igual ou inferior a 10 μm
Ppm	Partes por milhão
PSAT	Powertrain System Analysis Toolkit
RVP	Pressão de vaporização (Reid Vapor Pressure)
SO_2	Dióxido de Enxofre
SO_3	Trióxido de Enxofre

SO ₄ ²⁻	Sulfatos
SO _x	Óxidos de Enxofre
TP	Transporte Público
Tep	Toneladas equivalentes de petróleo
TTW	Tank-to-Wheels
UE	União Europeia
UE-27	União Europeia com 27 Estados-membros
UE-28	União Europeia com 28 Estados-membros
UTAD	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
WTT	Well-to-Tank
WTW	Well-to-Wheels

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento

A crescente preocupação da sociedade com questões ambientais e económicas conduziu à procura de soluções alternativas para uma mobilidade sustentável.

A palavra “sustentável” começou a ser ouvida com muita frequência no final do século XX, em todos os assuntos relacionados com os transportes. Já “mobilidade sustentável” poderá ter vários significados - tal como definido pelo World Business Council for Sustainable Development, é “*a capacidade de atender às necessidades da sociedade em deslocar-se livremente, em ganhar acesso, em comunicar, em comercializar e em estabelecer relações sem sacrificar outros valores fundamentais humanos e/ou ecológicos, hoje ou futuramente*” [1] .

Por outro lado, nos dias que correm é cada vez mais notável o número de pessoas que, ao necessitarem de se deslocar em torno das suas necessidades rotineiras (resultado de um desenvolvimento económico e social), o procuram fazer do modo mais rápido e com o menor custo e gasto possíveis. Porém, os transportes acarretam uma série de problemas, tais como congestionamentos, poluição, acidentes que geram *stress* e imprevistos. Já a construção de infraestruturas de suporte aos transportes causam ainda a destruição de paisagens em áreas rurais e perdas de espaço em áreas urbanas [2] o que se apresenta como um ponto negativo na perspetiva ambiental.

Posto isto, os transportes públicos poderiam surgir como uma resposta positiva e eficaz para uma mobilidade mais fácil, rápida, económica e ecológica. Contudo, no que respeita aos nossos transportes públicos (referimo-nos ao universo de Portugal), fazer essa gestão não seria de todo um processo fácil, dada a falta de condições muitas vezes observadas nos mesmos, tal como o seu custo, pontualidade, frequência de passagem, tempo de viagem, conforto, segurança, e por último, e não menos importante, a distância a que ficam do destino final. Com isto, muitas vezes observamos que o único meio de transporte capaz de dar respostas as necessidades dos indivíduos será o transporte particular [3].

Estas questões de mobilidade são importantes de analisar, em grandes centros urbanos e áreas metropolitanas, para tentar perceber quais as razões que levam a determinados comportamentos, a fim de ser possível a implementação de soluções eficazes. De acordo com os Censos 2011, para a análise de movimentos pendulares (deslocações casa-trabalho ou casa-local de estudo), o meio de transporte individual é o que sobressai com maior taxa de utilização, em particular o automóvel, com valores que rondam a casa dos 62% de utilizadores. Recuando um pouco no tempo, ao analisar estes mesmos fatores, através dos Censos 2001, podemos verificar que apenas cerca de 46% dos portugueses usavam o meio de transporte particular [3]. Posto isto, é notável o aumento de 16%, em 10 anos, de utilizadores de meio de transporte particular. Este aumento poderá ter sido potenciado pelo aumento da capacidade económica e pelos incentivos ao crédito a que os cidadãos têm acesso.

Como consequência deste crescimento na utilização de transportes particulares, encontramos uma diversidade de problemas na cidade de Lisboa, tais como congestionamentos frequentes, acidentes, poluição sonora, atmosférica, e muitos outros. A nível europeu, cerca de 7 500 quilómetros de estradas sofrem engarrafamentos [4] e tornam-se impossíveis de utilizar. Não só para os cidadãos, como também para a economia da UE, esta atribulação nas vias de deslocação é um aspeto negativo, já que o congestionamento nas estradas e aeroportos representa um acréscimo de 6% à fatura de combustível da UE [4].

Com o intuito de dar resposta a estes problemas, surge a necessidade de propor um modelo alternativo de mobilidade sustentável. Este modelo tem como objetivo principal a diminuição dos impactes no ambiente e o aumento da qualidade de vida dos cidadãos através de uma melhoria contínua das condições de deslocação, numa perspetiva de lógica sustentável.

Criar uma rede de transportes eficientes, bem articulada, é o objetivo de todas as cidades para que haja um maior volume e valor de exportações, para além de criação de emprego [5].

Globalmente, o setor dos transportes (que inclui os subsistemas rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial e aéreo, fortemente dependentes do petróleo e de outros petrolíferos) é responsável por 19% do consumo de energia e 23% de emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas com a energia [6]. Se este setor não reduzir estas emissões, será muito difícil cumprir as metas estabelecidas para as concentrações de emissões de gases efeito de estufa para a atmosfera, para um nível de 450 ppm de dióxido de carbono equivalente.

É urgente que haja uma alteração na UE no padrão de emissões de poluentes, por parte dos transportes, de forma a conseguir reduzir a poluição do ar e cumprir o acordo mundial assinado em Quioto.

Em dezembro de 2015 concretizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, que já se encontra na 21ª sessão anual (COP 21), onde foram tomadas medidas para reduzir as consequências das alterações climáticas aceites pela maior parte dos países. Este acordo teve como objetivo prioritário a redução do aquecimento global com a descida de 2 graus Celsius até 2100. Em novembro de 2016, realizou-se a COP 22, em Marrocos, para pôr em prática as medidas assumidas no acordo anterior [7].

1.2 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo averiguar o padrão de mobilidade dos alunos, docentes/investigadores e funcionários da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) e avaliar as emissões de CO₂ (dióxido de carbono) e poluentes como CO, COVNM, N₂O, NH₃, NO_x e PM_{2,5}, resultantes desta mobilidade pendular casa-FCUL-casa. Desta forma, pretende-se adquirir um melhor entendimento e conhecimento dos impactos da mobilidade nos parâmetros sociais, económicos e ambientais.

Procedeu-se ao planeamento e preparação de um inquérito de mobilidade sustentável, que se implementou junto da população do campus da FCUL, de forma a recolher e tratar os dados necessários para esta dissertação.

Os dados provenientes dos inquéritos permitiram a recolha de informação acerca de:

- Distâncias percorridas;
- Meios de transportes mais utilizados;
- Meios de transportes *versus* distância de casa;
- Percentagem de viagens por transportes públicos, privados e modos suaves;
- Tempo médio gasto por transporte;
- Distância média utilizada por modo de transporte;
- Índice de motorização;
- Avaliação qualitativa dos transportes públicos do ponto de vista do utilizador;
- Horários de ponta;

Serão ainda abordados mais tópicos, porém, os acima descritos são alguns dos mais importantes para a análise.

Mais especificamente, o estudo dos padrões de mobilidade da população da FCUL pretende perceber a escolha de meios de transporte, a relação entre o nível de vida e o transporte utilizado e a satisfação dos utentes com os transportes públicos.

Já o estudo das emissões de CO₂ e outros poluentes visa quantificar as emissões de poluentes resultantes da mobilidade e avaliar o nível de produção destas, no âmbito da população da FCUL. Estas emissões serão calculadas segundo três métodos distintos baseados no inventário da Agência Europeia do Ambiente, AEA, abordados de seguida, *Tier 1*, *Tier 2* e a partir do *Tier 3* (utilizando o *software* COPERT - Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport, versão V). E é feita uma comparação destas emissões e outros poluentes com outros inquéritos realizados noutros institutos de ensino para uma melhor análise e compreensão destes valores.

Por fim, com base nos dados recolhidos nos pontos anteriores, são propostos cenários e planos alternativos de melhoria da mobilidade, tendo em vista uma mobilidade sustentável que garanta uma deslocação mais eficiente do ponto de vista ambiental e económico.

Capítulo 2 – Fundamentos Teóricos

2.1 Mobilidade Sustentável

No ano de 2010, cerca de 73% dos cidadãos europeus habitavam em áreas urbanas e espera-se que haverá um aumento acima de 80% no ano de 2050. Nalguns países, como a Bélgica, Dinamarca, Luxemburgo, Malta, Suécia e Holanda, a taxa de urbanização irá aumentar mais de 90% [8].

As áreas urbanas são o motor do crescimento económico e do emprego. Cerca de 85% do PIB da União Europeia é produzido nas cidades europeias, embora, devido às atividades económicas extensas nas áreas urbanas, muitas cidades enfrentem atualmente vários problemas relacionados com a poluição dos transportes [8].

A transformação social aumentou rapidamente e os níveis de mobilidade e de crescimento do uso de veículos particulares foram acompanhados pelo aumento da expansão urbana e pendulares, enquanto as redes de transporte público em muitos casos não se expandiram na mesma proporção.

O congestionamento, a segurança, a poluição do ar e a poluição sonora são alguns dos exemplos de problemas comuns às cidades europeias. Além do impacto direto do tráfego, o transporte urbano também afeta o desenvolvimento social, podendo dificultar, ou mesmo impedir, a acessibilidade das pessoas com mobilidade reduzida.

Assim, a necessidade de transporte sustentável é cada vez mais reconhecida e recebe mais atenção. As cidades europeias enfrentam o desafio de necessitar de melhor mobilidade, garantir a acessibilidade e criar uma alta qualidade e sistemas de transporte eficientes e, ao mesmo tempo, reduzir o congestionamento, a poluição e os acidentes.

De acordo com a Comissão Europeia [7], a dependência de combustíveis fósseis tornar-se-á uma das mais importantes preocupações no futuro. O petróleo está a tornar-se cada vez mais escasso e os seus fornecedores mais incertos, o que pode vir a comprometer a mobilidade das pessoas e, como consequência, a economia nacional e internacional.

De acordo com Jha et al. em 2014 [9], a sustentabilidade no transporte geralmente refere-se à contribuição para o desenvolvimento sustentável de uma comunidade que possui e usa um determinado sistema. Tradicionalmente, o desenvolvimento da infraestrutura de transporte tem como base diretrizes que minimizam os custos operacionais e enfatizam a mobilidade do tráfego considerando as necessidades sociais e ambientais.

Os métodos de transporte sustentável concentram-se na melhoria da mobilidade urbana, com a finalidade de garantir o acesso e o rápido movimento da população em grandes centros urbanos. Em geral, as transferências urbanas envolvem muitos meios de transporte, e o trânsito pode ocorrer através do uso de diferentes modais de transporte.

Hsu e Wang, em 2016 [10], defendem a promoção do transporte sustentável, garantindo acessibilidade e mobilidade. Os autores debateram a ideia de que a utilização de diferentes meios de transporte iria garantir a redução de impactos ambientais. A utilização de transporte coletivo rodoviário elétricos combinados com veículos de trânsito rápido são algumas das alternativas mais eficientes em termos de energia ao uso de carros particulares convencionais. No entanto, os utilizadores ainda preferem usar redes privadas de veículos dado a rapidez da viagem.

O foco do debate está nos meios de transição do uso de carros particulares convencionais para o uso de diferentes formas de transporte, integrando os terminais com o objetivo de reduzir o tempo de viagem da origem ao destino. Outra questão que precisa de ser analisada é a baixa taxa de ocupação de transporte coletivo, porque este cenário agrava os impactos ambientais.

Com o objetivo de estudar os impactos e os efeitos da crise económica em relação à promoção da utilização do transporte sustentável, Galanis et al. [11] analisaram a cidade de Volos, na Grécia, com cerca de 130 000 habitantes, onde aplicaram uma pesquisa com 605 participantes aleatórios em 2013. Como o estudo dos autores tinha em conta os dados demográficos, o poder de compra, a posse de bicicletas e veículo particular, seguidamente os participantes apresentaram as várias possibilidades de alterar os seus meios de transporte de rotina e lazer, comparando o tempo antes e durante a crise económica.

Os resultados do estudo determinaram que os cidadãos alteraram os seus hábitos de transporte durante os anos da crise económica na Grécia a favor de outras formas de transporte sustentável e, de acordo com os autores, esta posição é justificada pelo aumento do desemprego e pela diminuição do rendimento das famílias, com estas a escolherem o transporte público e a bicicleta, substituindo, assim, os veículos particulares.

Continuando a analisar o desenvolvimento do sistema de transporte público, Patlins, em 2017 [12] fez um estudo com o objetivo de definir a sustentabilidade neste cenário. A pesquisa consistiu num estudo bibliográfico onde foram revistos e comparados os sistemas de transporte em diferentes cidades e países, por um lado, bem como na análise dos requisitos futuros do transporte, por outro.

Concluiu-se que existe ainda pouca abordagem publicada sobre os princípios do desenvolvimento sustentável para o sistema de transporte público. O que se tem escrito sobre a questão evidencia sobretudo os aspetos relacionados com o desenvolvimento dos sistemas de transporte urbano.

Patlins [12] melhorou a definição de sustentabilidade e teve como finalidade o desenvolvimento do sistema de transporte. E estes sistemas não podem ser sustentáveis sem entender o meio ambiente sustentável. O desenvolvimento sustentável do sistema de transporte público, será melhorado de acordo com a pesquisa realizada sobre o mesmo e requer variados fatores e indicadores de diferentes países e cidades.

2.2 Alternativas de Mobilidade Sustentável

2.2.1 *Carpooling*

Esta é uma alternativa de mobilidade sustentável em que o veículo particular é partilhado por duas ou mais pessoas cujos horários de viagens, origem e destino são similares ou combinados, diminuindo assim o número de veículos que circulam na via pública e, conseqüentemente, minimizando os impactos negativos para o ambiente [13].

O *Carpooling* é uma área mais visível e de rápida evolução para a mudança de paradigma da propriedade do veículo e aborda a necessidade de mobilidade da população em contextos onde os modos mais tradicionais de transporte são menos eficazes [13].

De acordo com a taxonomia mais adotada, o *Carpooling* é a utilização de um carro particular por diversas pessoas que viajam frequentemente ao mesmo tempo e em horários compatíveis.

A primeira opção é o tipo mais simples de *Carpooling*. Este sistema de transporte partilhado pode tornar-se mais complexo e exigir soluções flexíveis para os viajantes [13].

Estas soluções são frequentemente identificadas com o nome de partilha dinâmica ou em tempo real, que corresponde aos motoristas de passageiros com base no destino por meio de um aplicativo móvel antes da viagem começar.

O *Carpooling* é uma tecnologia antiga e muitas das iniciativas governamentais promoveram-no ao longo de mais de metade de um século. Nos anos 40, um grande movimento de conservação espalhou-se pelos EUA, impulsionado pelo governo, que procurou instruir e inspirar cada cidadão com vivacidade e poder para o uso do *Carpooling*, como uma solução de extrema necessidade [14].

2.2.2 *Carsharing*

O princípio da partilha de carros é simples, é um serviço de aluguer de automóveis por um determinado período de tempo. Os utilizadores não necessitam de usar veículos particulares, podendo aceder a uma frota de veículos partilhados conforme a necessidade. Os veículos estão localizados perto de residências, alugados por hora, e exigem um esforço mínimo para fazer *check-in* e *check-out*. O sistema *carsharing* é cada vez mais comum em países europeus e também na América do Norte [14]. Na América, este plano de transporte constitui uma das ferramentas mais importantes para atingir as metas de redução de emissões de gases de estufa.

O primeiro programa de partilha de carros foi lançado nos EUA em 1994, e o setor cresceu rapidamente desde então. Em janeiro de 2015, havia 23 operadores de *carsharing*, com mais de 1,1 milhão de membros e 16,754 veículos. Recentemente, surgiram novos modelos de serviço de partilha de carro, além da ida e volta, incluindo carros unidirecionais e com modelos de veículos pessoais [15].

O *carsharing* unidirecional (também conhecido como partilha de carros ponto a ponto) permite que os membros levistem um veículo num local e o entreguem noutro. O *carsharing* apresentou uma rápida expansão mundial em 2012, operando em sete países, incluindo EUA e Canadá. Como resultado, em janeiro de 2015, 35,7% das frotas norte-americanas eram capazes de viajar só para um trajeto e 30,8% dos membros tiveram acesso a essas frotas. Em setembro de 2015, já existiam quatro empresas de carros partilhados que ofereciam a funcionalidade unidirecional (car2go, DriveNow, Zipcar e BlueIndy) em 14 regiões metropolitanas dos EUA. O *carsharing* unidirecional pode permitir um aumento da flexibilidade e tem potencial para melhorar ainda mais a conectividade desde o primeiro ao último quilómetro. Apesar destes benefícios, o *carsharing* está neste momento a crescer lentamente e precisará de superar várias barreiras para atingir todo o seu potencial [16].

Em Portugal, o *carsharing* começou a operar em 2014 através da empresa Citydrive, com 60 carros disponíveis. Neste momento existem diversas empresas de *carsharing*, sendo a DriveNow uma das mais utilizadas. Em parceria com a car2go cria o conceito *Share Now*, tornando-se assim a empresa líder global de *carsharing* em sistema de *free floating*, com marcas de alta qualidade, como a BMW, Mercedes, SMART e MINI. A DriveNow é uma empresa do grupo BMW que é representada em Portugal pela Brisa, e a sua frota é constituída por mais de 211 veículos em Lisboa, dos quais 10% são elétricos [17] [18].

A EMOV é uma empresa de *carsharing* que faz parte do grupo PSA, que possui uma frota de 150 carros 100% elétricos [19].

2.2.3 *Bikesharing*

O sistema de partilha de bicicletas permite que os utilizadores acedam às bicicletas de acordo com as suas necessidades, a partir de uma rede de estações, que normalmente estão concentradas nas áreas urbanas. As estações de partilha de bicicletas geralmente são autónomas e acessíveis a qualquer hora, garantindo uma opção de mobilidade para cada caso. A partilha de bicicletas surgiu como uma das inovações de transporte mais recentes e de maior crescimento nas cidades norte-americanas.

Os operadores são responsáveis pelos custos de manutenção, armazenamento e estacionamento de bicicletas. A partilha de bicicletas também pode ser por flutuação livre, dentro de uma área geográfica limitada por meio de um operador *Business-to-consumer*, ou através de sistemas P2P ativados por *hardware* e/ou aplicações. Estas permitem um acesso mais rápido às bicicletas, através de reserva, simplesmente fazendo o levantamento da bicicleta “pick ups” e a entrega da mesma “drop-offs”. Existem três principais sistemas de partilha de bicicletas: partilha pública de bicicletas, partilha de bicicletas P2P

e campus fechado de partilha de bicicletas. Este último sistema tem sido instalado maioritariamente em universidades [20].

Em Lisboa, o sistema público de partilha de bicicletas surge oficialmente em setembro de 2017, tendo o nome de GIRA, sendo operado pela Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa. Em Portugal existem outras empresas de partilha de bicicletas, tais como a BUGA, em Aveiro, Bicas, em Cascais, e MUV, em Viseu. A empresa GIRA é a que apresenta maior frota, com um total de 456 bicicletas em 2018 [21][22].

2.3 Planos de Mobilidade Sustentável

Com as cidades já implementadas, construídas e em pleno funcionamento, criar um plano de mobilidade sustentável tornou-se essencial, porém, uma tarefa difícil. As razões são várias: é necessário respeitar várias políticas, por vezes contraditórias para muitos, como limitar zonas de acesso sem abrandar a sua circulação, sempre com limitações mais amplas, sejam elas financeiras, de saúde pública, alterações climáticas, poluição atmosférica, e não menos importante, o crescimento de população europeia em zonas urbanas.

O “Sustainable Urban Mobility Plan” é um plano estratégico concebido para satisfazer as necessidades de mobilidade de pessoas e empresas nas cidades e seus arredores para uma melhor qualidade de vida, deixando de ter principal foco no tráfego, mas sim nas pessoas [23].

Estes planos de mobilidade sustentável visam assegurar que todos os cidadãos tenham várias opções de transporte que alcancem o maior número de serviços básicos possível com a maior segurança possível, para além de melhorar a eficiência e a relação custo-eficácia dos transportes, reduzindo deste modo a poluição atmosférica e sonora, os gases efeito de estufa e o consumo de energia.

Estes planos têm sido largamente aplicados a nível mundial. Brasil, Índia, Alemanha e Itália são alguns dos exemplos. Também em Portugal se tem promovido a sua implementação através do programa de Investimento “Portugal 2020”[24].

Uma das medidas resultantes destes planos é o BRT (Bus Rapid Transit) ou Autocarro de Trânsito Rápido, que consiste num sistema de transporte coletivo de passageiros de alta performance, que inclui corredores exclusivos para autocarros e paragens. Este sistema procura substituir os sistemas ferroviários, proporcionando uma mobilidade urbana rápida, confortável, segura e eficiente, dando prioridade aos autocarros. O BRT é uma solução para os transportes públicos, uma vez que é capaz de lidar com as complexas necessidades de transporte de cidades em crescimento [25].

Em 2019, Kiba-Janiak [26] propuseram um conjunto de indicadores para avaliar a implementação de planos de mobilidade sustentável, e dividiram-no em três partes:

Cluster I - a formulação da estratégia, um conjunto de indicadores que avaliam se a autoridade local desenvolveu um plano de transporte de passageiros e mercadorias, o objetivo da cooperação com as partes interessadas e a participação em parcerias de qualidade;

Cluster II - a implementação de medidas de mobilidade urbana e sustentável inclui indicadores relacionados com cinco grupos de implementação de medidas no campo do transporte de passageiros e de mercadorias em termos de desenvolvimento sustentável da mobilidade urbana, tais como a infraestrutura, gestão do uso da terra, condição de acesso, inovação e ideias, promoção e divulgação;

Cluster III - resultados relacionados com a implementação de medidas em termos de mobilidade urbana sustentável: económicos (os custos causados por congestionamentos), sociais (segurança e proteção) e ambientais (número de habitantes que viajam utilizando meios ecológicos).

A necessidade de uma atitude estratégica em relação ao planeamento da mobilidade nas cidades advém da sua importância para a qualidade de vida. O planeamento de mobilidade em áreas urbanizadas requer uma atitude abrangente, ao mesmo tempo que considera as condições económicas, espaciais e sociais.

Nos planos são considerados os instrumentos mais abrangentes no pacote de mobilidade adotado pela Comissão Europeia.

De uma forma geral, podem ser distinguidos três níveis de gestão de mobilidade:

- O nível de instalação, que inclui o planeamento da mobilidade para instituições, como os hospitais, *shoppings* e fábricas. Nesta etapa, as necessidades de transporte de funcionários e clientes são atendidas.
- O nível da cidade, utilizado com maior frequência no objetivo de gestão da mobilidade de algumas cidades, incluindo as ações a favor dos residentes do município, implementado com maior frequência pelo desenvolvimento e aprovação do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável.
- O nível local, utilizado nas áreas metropolitanas, inclui os *links* que afetam a satisfação das necessidades de transporte dos residentes.

Uma mobilidade sustentável requer ações iniciais que devem resultar em:

- Redução da necessidade de viajar,
- Limitação das distâncias de viagem,
- Mudança do meio de transporte para outro mais ecológico,
- Garantir uma maior eficiência de transporte,
- Melhoria da acessibilidade das instalações, em particular para pedestres e ciclistas.

As questões relacionadas com a gestão da mobilidade sustentável focam-se no lado da necessidade. A gestão da necessidade por transporte abrange novos tipos de parcerias e um conjunto de instrumentos para apoiar as mudanças de atitude e comportamentos dos utilizadores dos transportes mais sustentáveis. A maior parte dos estudos sobre este tema não define de forma clara a classificação de instrumentos para uma gestão sustentável de mobilidade. Meyer [27] demonstrou três categorias de instrumentos:

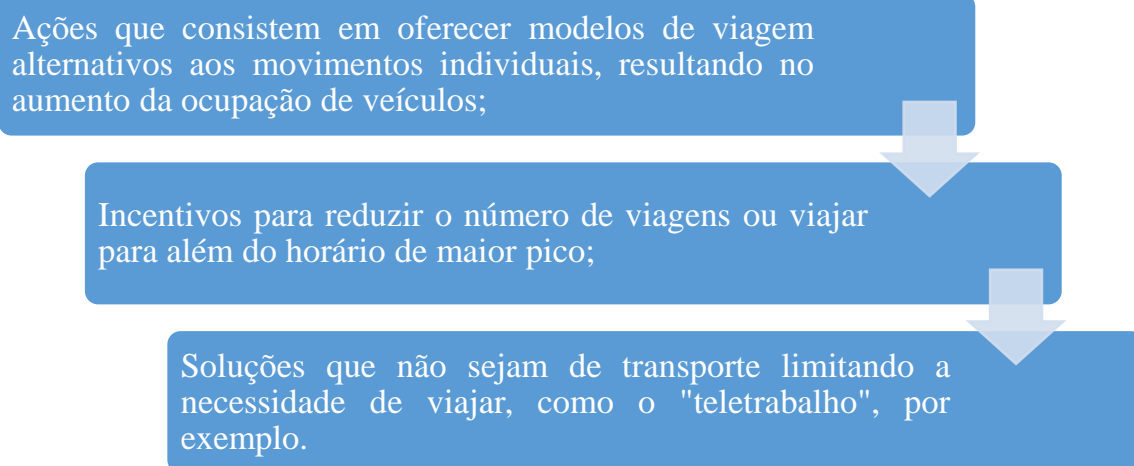


Figura 2.1 - Três categorias de instrumentos para uma gestão saudável.

Ungemah e Dusza, em 2016 [27], indicam outros três instrumentos complementares:

- Iniciar e desenvolver métodos de movimento alternativos ao transporte de carro,
- Promoção e educação no campo de métodos sustentáveis de viajar,
- Afetando financeiramente o desenvolvimento da necessidade de serviços de transporte (por exemplo, estabelecendo a quantidade de taxas de estacionamento).

Um plano de mobilidade pode ser desenvolvido para as condições aplicáveis à instalação selecionada e ao grupo de pessoas que realizam uma atividade específica nessa instalação. Como exemplo, para uma instalação de uma escola primária, o Plano de Mobilidade pode ser desenvolvido para dois grupos de pessoas: grupo de funcionários e professores que realizam as atividades de ensino e de trabalho de escritório e grupo de alunos, realizando a atividade de educação.

As tarefas básicas que devem ser executadas para desenvolver o Plano de Mobilidade (MP) da instalação são as seguintes:

- A análise do comportamento de transporte e preferências de grupos de pessoas distintos (através de questionários, entre outros),
- A análise da acessibilidade passiva e ativa do transporte para os distintos grupos de pessoas (as origens das viagens destinadas à instalação são as informações significativas),
- Desenvolvimento do plano de mobilidade e seleção de ações para tornar a mobilidade sustentável, tendo em consideração os resultados das análises preparadas nas alíneas anteriores,
- A avaliação *ex ante* dos resultados das ações adotadas no plano de mobilidade, e implementação do plano de mobilidade da instalação,
- A avaliação *ex post* do plano de mobilidade implementado para a instalação.

Numa implementação eficaz de uma mobilidade urbana sustentável, o plano exige identificação de ações específicas e determinação de uma sequência de desempenho nos projetos preparados. Durante a avaliação dos resultados do projeto são geralmente adotados os seguintes critérios [27]:

- Aumento da competitividade dos transportes públicos, através da melhoria da acessibilidade do transporte público para os deficientes,
- Redução de custos externos relacionados com a emissão de poluição e barulho,
- Corte nos custos de operação do sistema de transporte público,
- Integração do transporte, em particular a integração de transporte (incluindo bicicletas) com o transporte público,
- Aumento das possibilidades de desempenho de viagens multimodais utilizando vários meios de transporte público,
- Implementação de ITS - sistemas de transporte inteligentes, particularmente aqueles relacionados com o aumento do fluxo de tráfego e segurança, e com o aumento da competitividade dos transportes públicos (sistemas dinâmicos de informação dos passageiros, prioridades na estrada e tráfego, etc.),
- Aumento do acesso à infraestrutura de transporte urbano na maior área possível da sub-região e a maior área possível, bem como o maior número possível de usuários,
- Aumento do acesso ao transporte e melhoria de bicicletas na segurança dos participantes no tráfego não protegido.

2.4 Principais emissões atmosféricas

As emissões atmosféricas resultam de atividades antrópicas ou naturais e podem ser divididas em primárias e secundárias.

Emissões primárias

Os veículos são os principais causadores da poluição do ar, praticamente durante toda a sua vida, desde a sua produção na fábrica, na sua operação e durante o reabastecimento de combustível. Os carros mais recentes, quando mantidos em boas condições, produzem pequenas quantidades de gases poluentes, no entanto, as emissões de um grande número de veículos contribuem para um problema significativo da qualidade do ar. Esta poluição pode ser dividida em primária e secundária. A poluição primária é emitida diretamente para a atmosfera, enquanto a poluição secundária resulta de reações químicas entre os poluentes e a atmosfera.

Os principais poluentes emitidos pelos veículos a gasolina, a *diesel* e a combustíveis alternativos são o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NO_x), hidrocarbonetos não queimados (HC), matéria particulada (PM) e dióxido de enxofre (SO₂).

Os níveis de emissão de poluentes dependem principalmente da tecnologia do veículo e do seu estado de manutenção. Ao contrário das emissões de CO₂, a emissão de poluentes da qualidade do ar é menos dependente do consumo de combustível. Outros fatores, como o estilo de condução, as condições de condução e a temperatura ambiente, também afetam as emissões de poluentes.

No entanto, como ponto de partida, todos os automóveis novos de passageiros devem satisfazer as normas mínimas da UE em matéria de emissões [28].

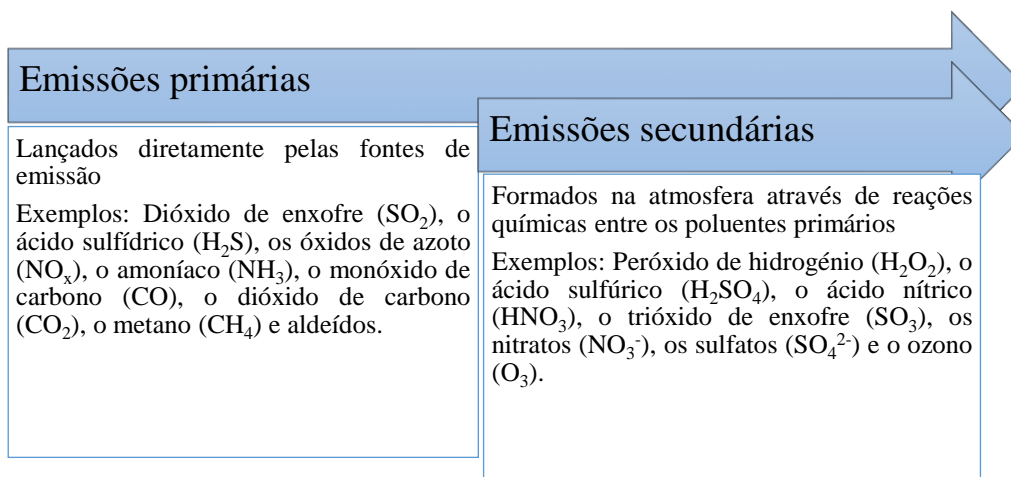


Figura 2.2 - Emissões primárias e secundárias.

Principais gases poluentes:

- Monóxido de carbono (CO);
- Dióxido de enxofre (SO₂);
- Matéria particulada (PM);
- Hidrocarbonetos (HC);
- Óxidos de azoto (NO_x);
- Amoníaco (NH₃);

- Aldeídos.

Gases de Efeito de Estufa (GEE)

A utilização de combustíveis fósseis é uma das principais causas do aumento das emissões de GEE, conquanto a desflorestação, as mudanças na ocupação dos solos e a agricultura também contribuem para este aumento, mesmo que em menor proporção. Nas reações de combustão, o dióxido de carbono é o principal resultante, sendo o GEE emitido em maior quantidade para a atmosfera. Os valores deste gás são minimizados com a ação das plantas e dos oceanos.

Os principais gases de efeito de estufa são:

- Dióxido de carbono (CO_2);
- Metano (CH_4);
- Óxido nitroso (N_2O).

2.4.1 Monóxido de carbono (CO)

Resulta da combustão incompleta do combustível dos veículos. Os motores a gasolina emitem quantidades de CO mais elevadas que os motores a *diesel*, devido à temperatura de combustão mais baixa[29]. Este gás inodoro, sem cor e venenoso é formado pela combustão dos combustíveis fósseis, tal como a gasolina.

Quando inalado, o CO bloqueia a circulação do oxigénio, reduzindo a sua disponibilidade para o cérebro, coração e outros órgãos vitais. A exposição a valores de 100 mg/litro ou superiores pode colocar em risco a vida humana.

Se 20% a 30% da hemoglobina ficarem saturados com CO, aparecem os sintomas e sinais de hipoxia (falta de oxigenação do organismo); acima de 60% de saturação ocorrem perdas de consciência e morte [30].

2.4.2 Dióxido de enxofre (SO_2)

O dióxido de enxofre é um gás amarelado, denso, incolor, não-inflamável e altamente tóxico, com cheiro característico do enxofre. As centrais elétricas e os motores dos veículos são os principais responsáveis pela criação deste poluente, através da queima de combustíveis que contém enxofre, como é o caso do *diesel* [28]. O grande problema deste gás é que, em contacto com superfícies húmidas, pode transformar-se em ácido sulfúrico. O dióxido de enxofre reage com a atmosfera formando matéria particulada, que representa um enorme risco para as crianças e pessoas asmáticas.

2.4.3 Matéria particulada (PM)

Algumas destas minúsculas partículas são formadas durante a combustão, outras são formadas na atmosfera através de reações químicas entre vários poluentes. A matéria particulada forma-se quando se verificam elevadas temperaturas na câmara de combustão, rica em combustível. A sua formação ocorre a partir de gotículas individuais, sujeitas a uma sequência de processos elementares, tais como pirólise, nucleação, crescimento e coagulação, agregação e oxidação. A reação de oxidação é limitada pela concentração de oxigénio, cujo transporte ocorre por difusão através da chama. Os motores a *diesel* são os principais contribuintes da poluição causada por estas partículas. As PM podem conter muitas substâncias, incluindo ácidos, carbono e hidrocarbonetos e dão origem a um *smog* de cor escura. Estas

partículas finas são o mais eficiente transportador de poluentes atmosféricos representando assim uma grave ameaça para a saúde humana, dado que podem penetrar profundamente nos pulmões [31]. Cada tipo de partícula é definido pelo seu tamanho e pelo que vem abaixo, ou seja, as PM_{10} incluem as $PM_{2.5}$. Isto significa que as partículas PM_{10} possuem um diâmetro igual ou inferior a 10 μm (micrómetros).

2.4.4 Hidrocarbonetos (HC)

Os hidrocarbonetos são constituídos por uma família de substâncias orgânicas compostas por carbono e hidrogénio. Estes poluentes reagem com os óxidos de azoto na presença de radiação solar, contribuindo para a formação de ozono na camada da atmosfera próxima da superfície, e constituindo o ingrediente primário do *smog*. Apesar de o ozono ser benéfico nas camadas superiores da atmosfera, ao nível da superfície este gás causa irritações no sistema respiratório [28]. Alguns hidrocarbonetos são carcinogénicos e gases de efeito estufa.

A maioria dos HC não são prejudiciais à saúde, a não ser em concentrações excessivas, que nunca iriam ocorrer na nossa poluição atmosférica.

2.4.5 Óxidos de azoto (NO_x)

Os óxidos de azoto são criados durante a combustão. Os motores dos veículos queimam uma pequena proporção de azoto que está presente no ar e de compostos de azoto encontrados no combustível dos veículos. Os motores a *diesel*, de um modo geral, produzem maiores quantidades de NO_x do que os motores a gasolina, devido às temperaturas de combustão mais altas [28].

O ar que respiramos é composto por 78% de azoto, 21% de oxigénio e 1% de argónio, sendo que o NO , nas concentrações normalmente presentes na atmosfera, não apresenta qualquer perigo[32].

Porém, os óxidos de azoto, incluindo o NO_2 e o NO , reagem na atmosfera para formar compostos que têm efeitos adversos na saúde humana, causando irritação nos pulmões e diminuindo as defesas do organismo contra infeções respiratórias, como a pneumonia. Em contacto excessivo de inalação do gás, podem ocorrer lesões como edemas pulmonares, hemorragias alveolares e insuficiência respiratória, provocando a morte.

Além disso, contribuem para a formação de ozono junto da superfície e formação de *smog*, de matéria particulada, e dão origem a chuvas ácidas.

2.4.6 Amoníaco (NH_3)

É um importante componente no ciclo global de azoto, que desempenha um papel importante em todos os ecossistemas, porém em concentrações excessivas no ambiente pode conduzir a alterações no ciclo, entre seres vivos, solo, água e atmosfera. A contaminação de azoto na água pode criar problemas sérios, como a deterioração da qualidade da água, eutrofização nas barragens e um risco potencial para os animais.

O amoníaco é um gás tóxico incolor a temperatura ambiente, na presença de concentrações elevadas na atmosfera pode causar irritação nos olhos e afetar gravemente o sistema respiratório.

Mais de 90% das emissões de amoníaco na Europa têm origem no setor agrícola. Estas emissões são libertadas para o ar durante a decomposição do estrume e da matéria orgânica originada na criação de animais e seus associados, o uso de fertilizantes sintéticos na agricultura também contribui para as emissões em menor escala [33]. As restantes emissões podem ser atribuídas a resíduos, processos industriais, unidades de desnitrificação instaladas para reduzir as emissões de óxidos de azoto das

centrais elétricas, e aos conversores catalíticos dos veículos com motores de combustão interna. Uma vez emitida, reage rapidamente com outros poluentes do ar formando sulfato e nitrato de amónio [34].

2.4.7 Aldeídos

Os aldeídos são compostos reativos que induzem efeitos adversos na fauna e flora. Nos seres humanos podem causar irritação nos olhos e nas vias aéreas, ou mesmo problemas respiratórios. Os aldeídos podem ser emitidos diretamente para a atmosfera a partir da combustão incompleta de biomassa e de combustíveis fósseis sendo formados outros compostos como resultado da oxidação fotoquímica de hidrocarbonetos reativos.

Os aldeídos na atmosfera são gerados principalmente a partir de emissões diretas de indústrias e/ou fontes de tráfego e secundariamente das reações fotoquímicas na atmosfera. Ambas as fontes podem contribuir para a alta concentração de aldeídos atmosféricos em algumas cidades, tendo como principal impacto a formação fotoquímica de *smog*, como Pequim, durante o verão [33].

2.4.8 Dióxido de carbono (CO₂)

O dióxido de carbono ou CO₂ é um gás de efeito de estufa que é natural e inofensivo em pequenas quantidades. Apesar de este gás não ser nocivo para o homem (gás produzido pela nossa respiração), é o principal responsável pelo efeito de estufa. Este deriva de várias fontes naturais, incluindo a eliminação de gases vulcânicos, a combustão de matéria orgânica e os processos respiratórios de organismos aeróbicos vivos. As fontes artificiais de dióxido de carbono provêm principalmente da queima de vários combustíveis fósseis para gerar energia e uso em transportes.

Num ano, um veículo que percorra cerca de 20 000 km, emite em média 3,4 toneladas de CO₂ para a atmosfera. Os motores dos veículos emitem poluentes como o dióxido de carbono, que contribui para o aquecimento global [28].

2.4.9 Metano (CH₄)

As concentrações de metano (CH₄) na atmosfera têm vindo a aumentar gradualmente, maioritariamente pelas práticas humanas, que tiveram início logo na época pré-industrial.

O metano é considerado um gás com efeito de estufa 28 vezes mais poderoso que o CO₂ para reter o calor, impedido a sua libertação para o espaço. O setor do petróleo e gás é a segunda maior fonte de metano antropogénico do mundo, libertando anualmente cerca de 85 biliões de metros cúbicos de metano na atmosfera [34].

A maior parte destas emissões é originada do petróleo e da produção do gás natural, processamento, transições e distribuição. Como o gás se move através de tubos de pressão extrema, o CH₄ pode ser emitido para a atmosfera através de válvulas, juntas e conexões entre tubagens.

De uma forma geral, as emissões de metano ocorrem a partir da ventilação do gás de compressores ou tubagens quando são retiradas do serviço. As emissões variam de país para país e dependem dos procedimentos de manutenção da operação e condições de equipamento.

Atualmente, cerca de 17% do total de emissões globais de metano resultam do petróleo e gás natural. O Brasil e a China possuem o maior crescimento de metano devido à sua rápida economia em expansão [34].

2.4.10 Óxido Nitroso (N₂O)

As mudanças climáticas induzidas por gases de efeito estufa (GEE) estão entre os desafios de sustentabilidade mais urgentes que a humanidade enfrenta atualmente, apresentando sérios riscos para a saúde do ecossistema. O metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) são os dois mais importantes, após o dióxido de carbono (CO₂).

O óxido nitroso é o principal causador de destruição do ozono estratosférico, tendo este um potencial de aquecimento global 296 vezes maior que o dióxido de carbono, devido à sua longa vida útil atmosférica e alta capacidade radioativa [35].

As concentrações de óxido nitroso na atmosfera têm vindo a aumentar ao longo do século, sendo a sua principal fonte as atividades agrícolas e industriais, bem como a combustão de resíduos sólidos e combustíveis fósseis. Forma-se na sua maioria através de processos microbianos de nitrificação e desnitrificação que ocorrem nos ecossistemas terrestres e aquáticos sendo responsáveis por 58% das emissões anuais globais. Os solos agrícolas e gestão de resíduos são responsáveis por 27% da produção anual de óxido nitroso, mas destes, 70% são derivados de atividades humanas [36][37].

No seguinte gráfico pode-se observar como se dividem as emissões globais de gases efeito de estufa:

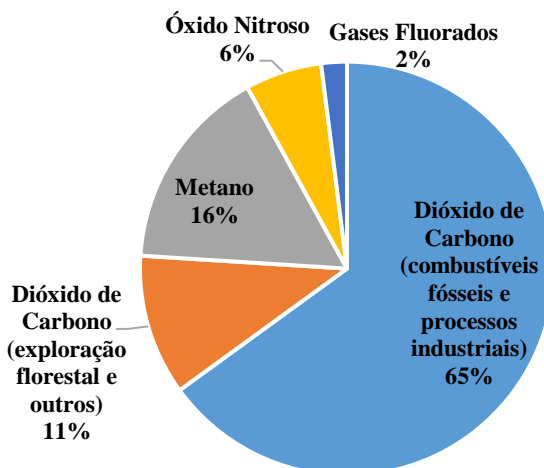


Gráfico 2.1 - Emissões globais de gases efeito de estufa baseado no ano de 2010.

Adaptado de: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) e Climate Change, 2014 [38].

2.5 Consumo de energia

Nos dias que correm, a combustão de combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão) pelas práticas humanas tem aumentado, e, conseqüentemente, tem levado a um acréscimo das concentrações de GEE, mais precisamente de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Estes aumentos podem causar mudanças climáticas e subida das temperaturas médias no planeta. A queima de combustíveis fósseis faz libertar calor que pode ser convertido em energia, porém, no seguimento, o carbono reage quando conectado com o oxigénio, produzindo CO₂ entre outros poluentes que são expelidos para a atmosfera.

O uso de energia no meio ambiente depende vigorosamente de quais são as fontes de energia e de quais as quantidades totais de energia consumida. Para haver uma redução no consumo de energia é necessário haver alternativas, como energia mais eficiente, para tal, é fundamental dar primazia ao uso de fontes de energia renováveis e às mudanças dos padrões de consumo de energia.

O consumo final de energia é a soma da energia fornecida ao consumidor final para todos os setores, desde o residencial, industrial, transportes, serviços, agricultura e outros. Este indicador é bastante útil, uma vez que enfatiza as necessidades setoriais de cada país em relação à procura final de energia, em cada ano civil.

Em 2017, o setor de transportes representou 31% do consumo total final de energia nos estados-membros da UE, seguido pelos seguintes setores: residencial (27%), indústria (25%), serviços (14%), agricultura (2%) e outros (1%). Este consumo é apresentado em percentagem, com base em toneladas de petróleo equivalente [39].

Consumo de energia final por setor na União Europeia, EU-28, 2017

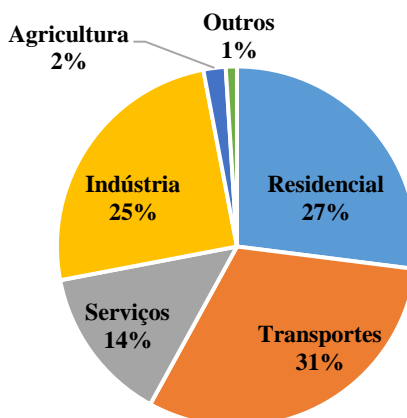


Gráfico 2.2 - Consumo médio de energia final por setor na UE - 28 para o ano de 2017.

Adaptado de: Eurostat, 2017.

No setor dos transportes, em relação ao consumo final de energia, desde 2005 houve um acréscimo de 0,5% para o ano de 2017. Segundo os dados da Agência Europeia do Ambiente, esta tendência continuará em crescimento, devido, entre outros aspetos, ao desenvolvimento progressivo do setor rodoviário e aéreo de passageiros.

2.6 Emissões gerais em Portugal e União Europeia

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (AEA), a eficiência no consumo de combustível nos carros novos vendidos na União Europeia, tem vindo a aumentar. Porém em 2015 obteve-se uma redução, sendo este o menor resultado registado na última década, com valor de 1,4 gCO₂ por quilómetro.

Na Europa, segundo os dados do relatório AEA, pode-se observar que para o ano de 2016 e 2017, Portugal destacou-se como o país com melhor média de compra de veículos ligeiros de passageiros mais eficientes, sendo a média europeia de 118,5 gCO₂/km [40].

Pode-se observar que para o ano de 2017 Portugal teve uma média de 104,7 gCO₂/km, a Dinamarca de 107,1 gCO₂/km, a Holanda de 108 gCO₂/km e a Grécia de 109 gCO₂/km. O país com a compra de veículos ligeiros menos eficientes é a Estónia com 134 gCO₂/km.

Comparativamente a anos passados, os países que apresentaram maiores diferenças foram, a Letónia com menos 8,2 gCO₂/km e a República Checa com menos 5,2 gCO₂/km. Em ambos os países, a tendência de comprar veículos menores foi notória, refletindo-se diretamente na eficiência média de consumo de combustível.

Para o ano de 2018, voltou a notar-se um crescimento de aproximadamente de 2 gCO₂/km, na média europeia, valor que se deve à subida nas vendas dos veículos a gasolina ao invés de veículos a *diesel*, uma inclinação que sido mais comum desde 2017.

Constatou-se também, em média, veículos movidos a gasóleo podem emitir cerca de 3,7 gCO₂/km que veículos a gasolina, uma diferença notável, visto que para o ano 2000 se apresentava uma diferença de 17,1 gCO₂/km, assim para o ano de 2016, um veículo a gasóleo emitia em média 117,9 gCO₂/km. Ao realizar-se uma comparação entre veículos movidos a gasolina e gasóleo, pode-se averiguar que os carros a gasolina podem emitir valores superiores que rondam os 10-40% que veículos a gasóleo.

Entre 2016 e 2017, o veículo a gasóleo de grandes dimensões averiguou uma pequena redução de 0,5 gCO₂/km, já os de pequena e média dimensão tiveram um aumento nas suas emissões de na ordem de 1 e 1,5 gCO₂/km, respetivamente. Para os veículos a gasolina, de grandes dimensões averiguou-se uma diminuição de cerca de 6 gCO₂/km, nos automóveis médios mantiveram-se as suas emissões, porém os de pequena dimensão registou-se um aumento de cerca de 0,4 g/km para o mesmo período [40].

De acordo com “Associação sistema terrestre sustentável – Zero”, estes resultados, de Portugal, em relação com a média europeia está associada à compra de veículos menos pesados, menos potentes e mais eficientes. Esta medida pode ser justificada por uma política fiscal que considera o dióxido de carbono e a cilindrada, como fatores nos impostos de cada veículo [41].

Para se proceder uma mudança em relação às alterações climáticas, é necessária uma redução na emissão de poluentes no sector do transporte rodoviário, para tal a Comissão Europeia definiu metas para a diminuição de CO₂ para os novos veículos ligeiros de passageiros, com a aplicação do regulamento^a em 2009, no qual foi estabelecido uma meta para 2015 de 130 gCO₂/km. O mesmo regulamento também estabeleceu uma meta para 2021, porém esta não obrigatória, de 95 gCO₂/km. No gráfico 2.3, é apresentado as médias dos novos veículos ligeiros comprados para a União Europeia – 27, comparativamente com Portugal. Também é possível verificar as metas estabelecidas para o ano de 2015 e 2021[40].

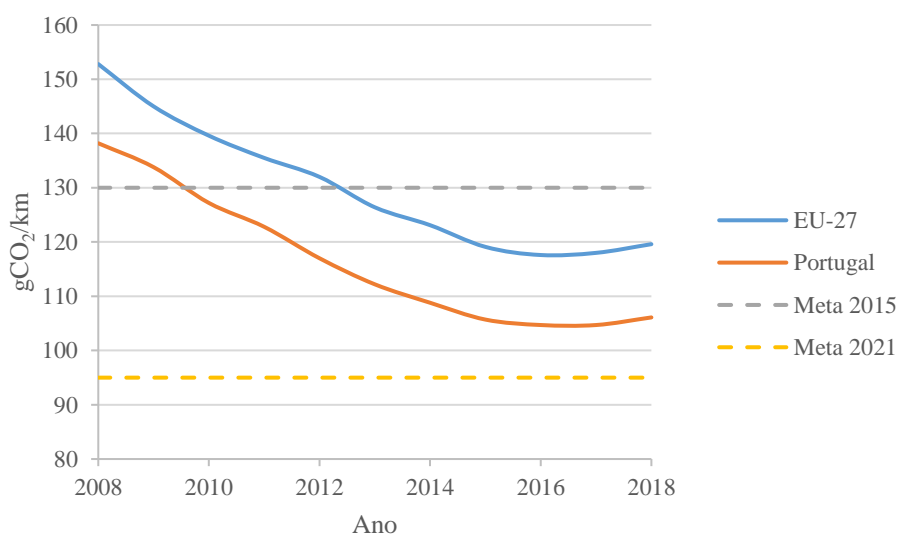


Gráfico 2.3 - Emissões médias dos novos veículos ligeiros para Portugal e UE-27 para cada ano, com respetivas metas (gCO₂/km).

Adaptado de: Eurostat e AEA [42].

^a Regulamento (CE) n.º 443/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009

2.7 Cálculo de emissões: *Tiers*

As emissões podem ser estimadas através de metodologias baseadas em “*Tier*”, sendo o *Tier 1* o método metodológico mais simples, passando para o *Tier 2*, o intermédio, e por último o mais avançado, o *Tier 3*, o mais exigente em termos de complexidade e requisito de dados. Os dois últimos são considerados métodos geralmente mais precisos e exatos.

O *Tier 1* é um método que aplica uma relação linear simples entre dados e fatores de emissão. Os dados são derivados de informações estatísticas facilmente disponíveis, como por exemplo: estatísticas energéticas, contagens de tráfego e tamanho das populações. Os fatores de emissão padrão são escolhidos de forma a representar condições médias e tipicamente tendem a ser independentes. Este modelo é baseado no consumo de combustível da frota.

O método *Tier 2* utiliza os dados de atividade muito idênticos ou semelhantes ao do *Tier 1*, mas com a aplicação de fatores de emissão específicos do país, características dos combustíveis e suas tecnologias, baseado na distância percorrida.

Para concluir, o método *Tier 3* lida com modelos de dados muito mais sofisticados, desde o tipo de estrada, combustível, distância da viagem, frota e velocidade média [43].

2.7.1. Como escolher o método adequado?

Para a escolha do método de estudo -*Tier*- mais adequado, poderá ser usado o transporte rodoviário como categoria-chave para esta análise, tal como é usado em todos os países.

Como descrito acima, existem três diferentes tipos de *Tiers*, possuindo cada um diferentes características no seu cálculo. Para que se escolha o método adequado é necessário averiguar quais são os *inputs* existentes para uma melhor abordagem do cálculo das emissões.

O método *Tier 1* deve ser usado na ausência de informações mais detalhadas, ou seja, quando apenas existem valores de consumo de combustível. Para um país que precise de eleger um método, é necessário fazer todos os esforços para recolher informações mais precisas e essenciais para o uso de *Tier* mais elevados, elegendo-se, preferencialmente, o *Tier 3* para a estimativa de emissões. O organograma abaixo permitir-nos-á esquematizar qual o método a empregar [43].

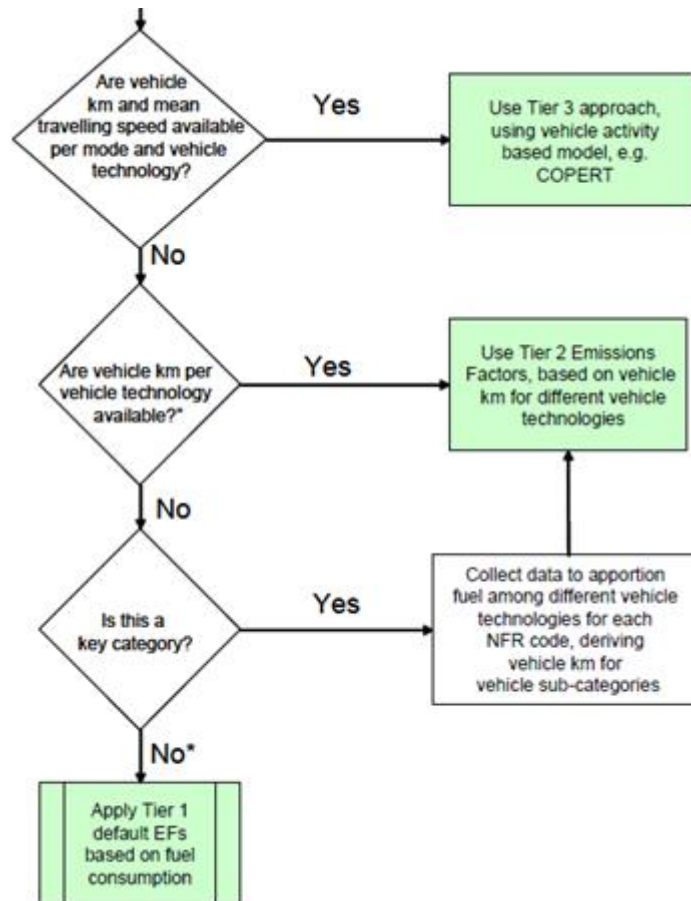


Figura 2.3 - Organograma para melhor escolha do método ideal.

Fonte: “Road transport emissions, European Environment Agency”, 2016 [43].

2.8 COPERT V

2.8.1 Contextualização e aplicação

Os sistemas portáteis de emissões são uma fonte valiosa de informações reais, dados de operação para apoio do desenvolvimento e validação de fatores de emissão do veículo. O fluxo de escape e a concentração de poluentes nos gases no tubo de escape são, por isso, analisados.

O COPERT V é um programa de *software* desenvolvido e mantido pelo Laboratory of Applied Thermodynamics (LAT), na Universidade Aristóteles de Thessaloniki (Grécia), que visa o cálculo das emissões de poluentes atmosféricos provenientes do transporte rodoviário [44]. Estima as emissões de poluentes em todo o ar regulado (CO, NO_x, COV, PM) produzidos por diferentes categorias de veículos e emissões de CO₂ no consumo de combustível. O COPERT faz parte do Inventário de Emissões Atmosféricas da EMEP/ CORINAIR, Guia (AEIG), e é usado por vários estados-membros europeus (mais de vinte) nos seus relatórios de inventários nacionais de emissões para transporte rodoviário.

- Pontos fortes do COPERT V

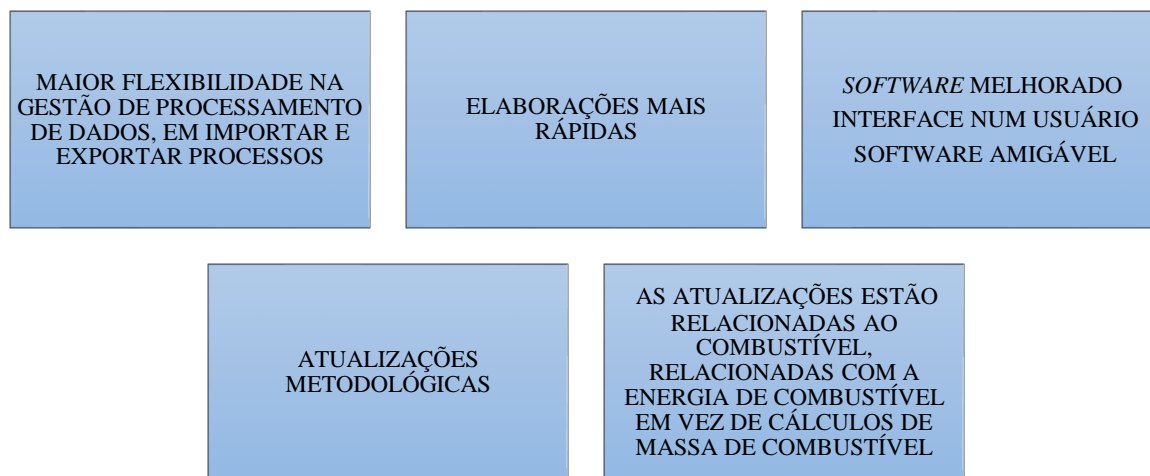


Figura 2.4 – Resumo dos pontos fortes na utilização do *software* COPERT, versão V.

A versão atual da EFT (Emissions Factors Toolkit) da Defra (v8.0) usa fatores de emissão do COPERT, versão V. Este é o modelo europeu mais utilizado para o cálculo das emissões rodoviárias do transporte. O COPERT é constantemente atualizado, e a versão V, integra as diferentes funções de emissões de veículos Euro VI e coincide com a introdução faseada dos ensaios de emissões de condução para homologação de veículos.

Fatores de emissão COPERT baseiam-se nas velocidades médias dos veículos. Dados do mundo real sobre emissões mostram que estas aumentam durante a aceleração, que não é bem representada pelas curvas de emissão de velocidade COPERT. Pode haver uma grande variação nas emissões para a mesma velocidade média. Estes efeitos são observados em todas as idades do veículo e, desde que não haja indicação de que isso mudará no futuro, esse problema não é específico da previsão para o próximo ano [45].

Correspondendo à classificação da frota COPERT V, todos os veículos presentes e futuros da frota são agrupados em classes de veículos, subclasses e camadas. A classificação de camadas é uma divisão adicional das subclasses de veículos em grupos de veículos com o mesmo consumo médio de combustível e comportamento de emissão, de acordo com os níveis da legislação de emissões da UE.

Na prática, as emissões dos veículos em circulação são diferentes dos valores-limite da legislação e, portanto, estes últimos valores não são adequados para o total dos cálculos de emissões. Além da diferença no teste em relação ao comportamento de condução no mundo real, os valores-limite de emissão não refletem o impacto das emissões acumuladas e dos níveis de manutenção do motor e do escape após o tratamento para a frota de veículos como um todo.

Portanto, para representar a frota e apoiar as estimativas nacionais médias de emissões, os fatores de emissão selecionados devem ser derivados de numerosas medições de emissões, usando uma ampla variedade de padrões e um número suficiente de veículos de ensaio. É igualmente importante possuir dados separados de consumo, e emissão de combustível para cálculos de emissões de partida a frio e evaporação da gasolina (hidrocarbonetos).

O consumo de combustível e os fatores de emissão usados nos inventários provêm do modelo COPERT V. A fonte desses dados são vários programas de medição europeus. Em geral, os dados do COPERT

são transformados em fatores de consumo e combustível dependentes da velocidade da viagem para todas as categorias e camadas de veículos usando velocidades de percurso.

Para automóveis, o COPERT V inclui o consumo de combustível baseado na medição de fatores até ao Euro IV. Além disso, o COPERT V utiliza uma rotina de cálculo para carros que compensa a tendência de veículos com maior consumo de combustível vendido durante os anos posteriores.

Para realizar a avaliação das emissões da estrada transporte usando a ferramenta de *software* COPERT V, é necessário colher dados de entrada extensivos. Antes de qualquer avaliação ou uso do *software*, foi necessário recolher dados sobre [46]:

- condições climáticas durante o ano,
- características específicas de todos os tipos de combustível nas vendas,
- consumo total (anual) de todos os tipos de combustível,
- uma frota de veículos classificada de acordo com as categorias, subcategorias e emissão de veículos e tecnologias (número de veículos),
- distância média percorrida para cada categoria de veículo (com base numa pesquisa especial),
- velocidades médias dos veículos por categorias de veículos e estradas.

O cronograma abaixo explicará melhor os aspetos:

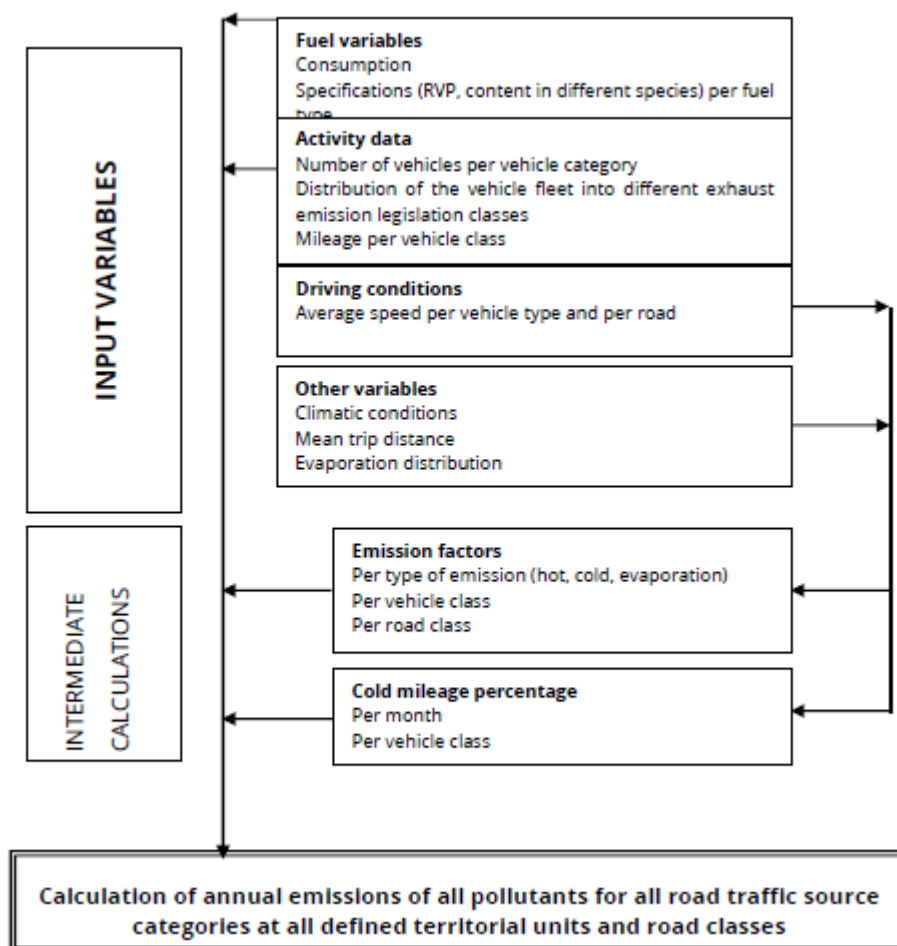


Figura 2.5 - Cronograma dos vários *inputs* do COPERT V.

Fonte: “Road transport emissions, European Environment Agency”, 2016 [43].

2.9 Emissões no ciclo de vida

Pode-se dividir o ciclo de vida de um automóvel em dois estádios.

O Tank-To-Wheels (TTW) avalia a energia e as emissões expelidas pelo uso do veículo com um determinado combustível, desde o seu armazenamento no tanque até à sua transformação de energia que faz mover as rodas do veículo. Nesta fase são incluídas as emissões lançadas pelo tubo de escape do automóvel não incluindo o ciclo de vida do combustível [47].

Importa ainda realçar que as emissões relacionadas ao Tank-To-Wheels são determinadas com base na equação da reação química de um hidrocarboneto geral. A composição dos reagentes e dos produtos dependem da conservação da massa de cada elemento químico dos reagentes, sendo somente necessárias a composição elementar relacionada com o hidrocarboneto e as proporções relativas ao hidrocarboneto e ao ar [48]. O ar possui azoto, embora quando os produtos estão sujeitos a baixas temperaturas o azoto não seja afetado pela reação.

Um TTW é uma análise do ciclo de combustível em termos de arquitetura do veículo, combustível, e os efeitos do ciclo de condução do veículo. É responsável pela energia consumida e pelas emissões de GEE produzidas para mover o veículo. As ferramentas de *software* mais comuns usadas para realizar um TTW são a análise do Powertrain System Analysis Toolkit (PSAT), da Argonne National Energy, Laboratório e Departamento de Energia dos EUA e o Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável e pelo Departamento de Energia [49].

O PSAT e o ADVISOR simulam a economia e o desempenho de combustível de forma realista, levando em consideração o comportamento e as características do sistema de controlo para uma variedade de veículos e tipos de combustível. O Laboratório Nacional de Energia de Argonne desenvolveu recentemente um *software* mais fácil de usar chamado AUTONOMIE [50].

A análise do WTW combina o WTT e o TTW e é responsável pelo total de energia consumida pelo veículo por cada kWh^b de energia fornecida ao volante. A figura seguinte ilustra a abordagem combinada, que forma a WTW.

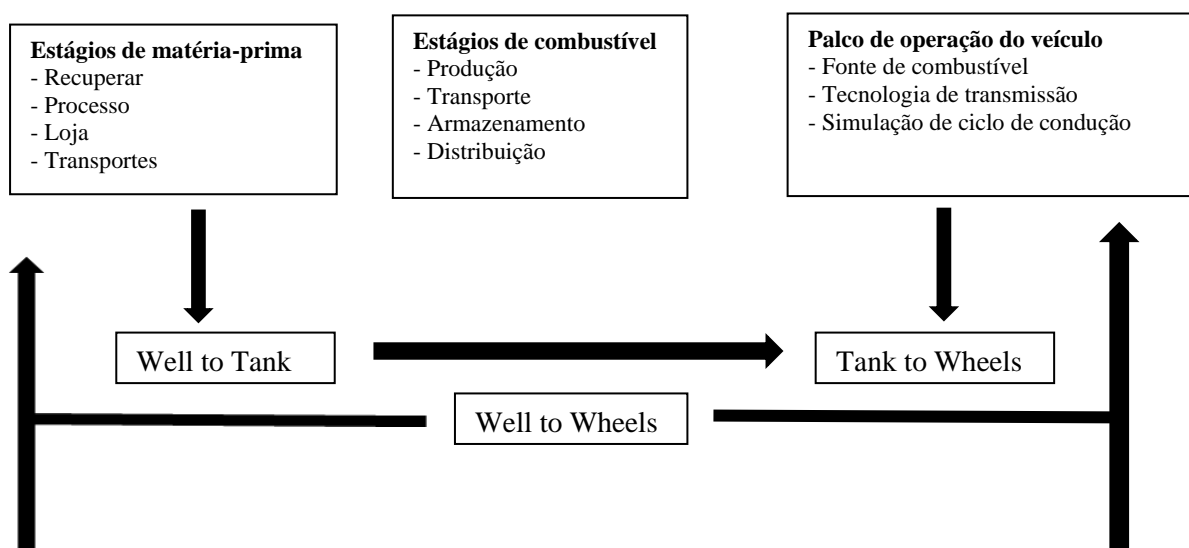


Figura 2.6 – Ciclo de vida do combustível.

^b Unidade de energia elétrica e significa Quilowatt-hora

Considerando a relevância das etapas acima descritas neste trabalho, definiu-se que a etapa TTW (depósito à roda) representa parcialmente o ciclo de vida total do combustível usado nos veículos rodoviários e ferroviários.

2.10 Índice de motorização

O índice de motorização é uma ferramenta muito usada para avaliar o desenvolvimento do transporte num país, designando o número de veículos ligeiros por população total. Este índice está correlacionado com o consumo de combustível, emissões associadas e dependência de transportes privados e individuais [51]. Para o seu cálculo utiliza-se a fórmula abaixo descrita.

$$\text{Índice de monitorização} = \frac{a \times 1000}{b} \quad (2.1)$$

Em que:

a - Corresponde ao número total de veículos ligeiros;

b - Correspondente à população total.

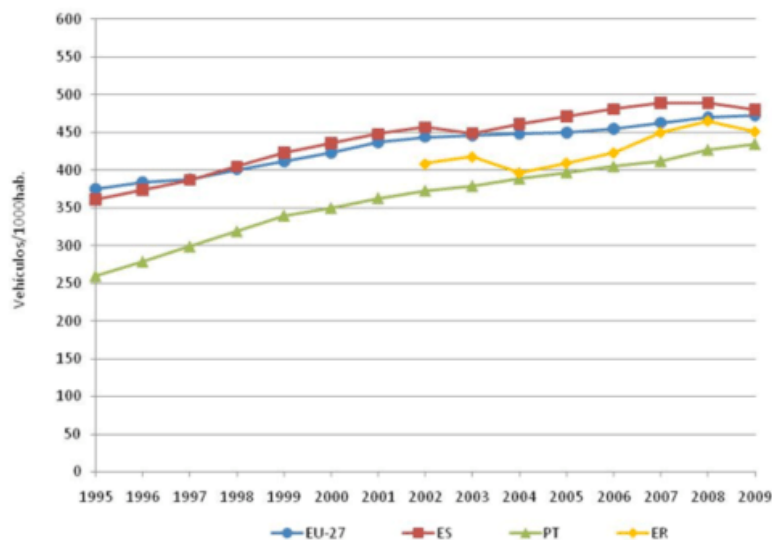


Figura 2.7 - Índice de motorização entre 1995 e 2009 medido em veículos por mil habitantes.

Fonte: INE Portugal; Anuário estatístico de La Caixa; Eurostat.

Como se pode observar no gráfico acima, o índice de motorização cresceu gradualmente desde 1995 até 2009. Na União Europeia (UE-27) podemos verificar um aumento não tão significativo.

Neste momento, em Portugal, de acordo com a PORDATA (base de dados de Portugal contemporâneo), para o ano de 2016 foi adquirido um índice de motorização de 469,7/1000 habitantes, um acréscimo notável, já que 1995 era de 255,3/1000 habitantes. Também para a União Europeia (UE-28), em 2016 se pode verificar uma taxa de motorização de 507,9/1000 habitantes, ligeiramente acima dos valores em Portugal [52].

2.11 Estado da Arte

Dentro desta temática já existem alguns estudos realizados, tal como o caso da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), que teve como tema a mobilidade urbana sustentável dentro do campus. Este estudo teve como objetivo principal a determinação do padrão de mobilidade da população do campus da UTAD, a fim de identificar os principais problemas de mobilidade e propor soluções mais sustentáveis.

Neste tipo de estudos, para a obtenção de dados, pode-se recorrer à aplicação de inquéritos aos indivíduos da população em questão. Os inquéritos presenciais têm a vantagem de garantir e controlar a quantidade e veracidade dos dados obtidos, mas podem tornar o processo de recolha de dados mais moroso. Por outro lado, os inquéritos via internet são uma opção mais económica em termos de tempo, mas podem resultar em dados inválidos (caso o inquérito seja respondido por indivíduos fora da população de estudo). No estudo da UTAD recorreu-se à via presencial, onde foram realizados 1 095 inquéritos de mobilidade, sendo que, para efeitos de estudo apenas foram considerados 1 051, com o intuito de calcular os padrões de mobilidade do campus UTAD, as respetivas emissões de CO₂ associadas, a área do campus e áreas com capacidade de captação de CO₂, e, por último, qual o custo de plantação dessas mesmas árvores. Após a conclusão do estudo, foi possível observar que nas deslocações pendulares efetuadas durante um ano letivo (considerados 165 dias), por meio de transportes individual, obteve-se um total de 1441,10 toneladas de CO₂. Já para os transportes públicos (autocarro) obteve-se um total de 107,12 toneladas por ano. Desta forma, resulta num total de 1548,22 toneladas de CO₂ emitidos por todos os inquiridos.

As soluções sugeridas no estudo da UTAD passam pelo incentivo aos modos suaves criando um corredor nas vias para permitir a deslocação de peões e bicicletas, para que estes se possam circular em segurança. Outra solução é a criação de uma plataforma de *carpooling* [53].

Outro estudo desenvolvido dentro desta área foi levado a cabo pelo Instituto Superior Técnico (IST) e visa a realização de uma análise energética e ambiental das viagens pendulares dos alunos e professores deste instituto. Para a obtenção destes dados foram realizados também inquéritos a alunos de dois cursos, Engenharia do Ambiente e Engenharia e Gestão Industrial, e a docentes do IST. O primeiro curso é constituído por 322 alunos, que responderam a 90 inquéritos. Por outro lado, o segundo curso é frequentado por 391 alunos, aos quais foram realizados 118 inquéritos. Com isto, recolheu-se um total de 238 inquéritos.

Estes inquéritos foram subdivididos em 4 categorias para aferir: a caracterização do entrevistado (função exercida e local onde exerce); residência do mesmo; transportes utilizados; “*Outros, com o qual se pretendeu obter alguma informação extra referente as deslocações para o IST*”[54].

Para calcular as emissões provenientes das deslocações pendulares dos alunos, aplicou-se o *software* COPERT IV, de onde foram retirados alguns dos seguintes poluentes como CO, NO_x, COVNM, PM, N₂O e, por último, o cálculo de gases de efeito de estufa (CO₂ e CH₄), que incluiu as emissões diárias, em gramas por viagem e gramas por aluno, e anuais em toneladas.

As soluções apresentadas como alternativas de mobilidade sustentável foram a utilização de tecnologias alternativas e biocombustíveis (bioetanol e biodiesel), renovação da frota, utilização do sistema *carpooling*, maior utilização dos transportes do IST e públicos, e por último a diminuição do número de dias de aulas por semana [54].

Observa-se que foram ainda realizados estudos semelhantes, noutros institutos, tendo sido estudado o meio de transporte da amostra de cada um destes, através de inquéritos. Porém, não foram calculadas emissões, tendo sido apenas apresentados os casos de estudo, problemas de mobilidade na área

abrangida e propostas de melhoria desta mesma área, tal como podemos observar nas seguintes dissertações:

“Qualidade de Vida Urbana e Mobilidade Urbana Sustentável na Cidade do Porto – Elaboração de um conjunto de indicadores”, de Patrícia Tonaco Silva, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP); “Proposta de Medidas para Melhoria da Mobilidade em Meio Urbano – O Caso de Angra do Heroísmo”, de Sara Barcelos Vieira, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; “Proposta para uma mobilidade Sustentável na Freguesia de Carcavelos”, de Susana Rebelo Cordeiro Évora Rolo, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Como podemos observar, a recorrência a inquéritos para obtenção de padrões de mobilidade é comumente utilizada, assim, no presente estudo recorrer-se-á igualmente à aplicação de inquéritos, via internet e presencialmente.

A utilização de inquéritos tem sido cada vez mais uma ferramenta de recolha de dados e estudos de padrões, baseando-se numa população específica. A Internet pode funcionar como uma ferramenta para aplicação de inquéritos oferecendo inúmeras possibilidades de respostas. No entanto, é importante perceber que tem limitações, não se sabe ao certo quem o está a preencher ou quem tem acesso ao mesmo.

Assim sendo, a realização de inquéritos *online* continuará, por enquanto, a apresentar uma certa quantidade de incógnitas relativas à veracidade dos dados [55].

Capítulo 3 – Métodos

Mobilidade na Área Metropolitana de Lisboa

Para uma análise mais detalhada, da área percorrida nas deslocações do universo da amostra desta dissertação, procedeu-se ao reconhecimento da Área Metropolitana de Lisboa (AML).

3.1 Caracterização geográfica da AML

A Área Metropolitana de Lisboa (AML) estende-se ao longo de 3 015 quilómetros quadrados, representando 3,3% da área de Portugal, tendo na sua constituição 27,1% da população portuguesa. Esta área metropolitana é constituída por 18 municípios: Alcochete, Almada, Amadora, Barreiro, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Moita, Montijo, Odivelas, Oeiras, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal, Sintra e Vila Franca de Xira, que correspondem a um total de 17 cidades, que se estendem desde a Grande Lisboa até à Península de Setúbal.



Figura 3.1 - Distribuição dos concelhos da área metropolitana de Lisboa. Fonte: Vimeca Transportes.

Segundo o Censos 2011, a população residente na Região de Lisboa é de 2 815 851 indivíduos, denotando-se que este território é densamente povoado, com cerca de 932 habitantes por quilómetro quadrado, o que é uma elevada concentração numa extensão territorial reduzida. As cidades de Amadora e Lisboa correspondem às cidades com maior densidade populacional em Portugal, tendo na sua composição cerca de 7 363 e 5 090 habitantes/km², respetivamente. Na última década, o número de pessoas que vivem na AML aumentou em cerca de 6%, sendo este um crescimento três vezes maior comparativamente à média nacional.

Observa-se ainda uma evolução da população por NUT III, Grande Lisboa e Península de Setúbal, que revela um crescimento bastante significativo. Seguidamente à Região do Norte, a AML é a segunda região mais populosa (NUTS II), sendo a área metropolitana (NUT III) a mais populosa do país.

Em relação a 2001, denota-se um movimento de crescimento em todos os municípios, sendo cerca de 5% no caso da sub-região da Grande Lisboa, com exceção do município de Lisboa, que apresenta uma redução de 3% da população. Analisando os restantes municípios, verifica-se um aumento significativo da sua população residente, sendo o aumento de, respetivamente, 41% em Mafra, 20% em Cascais, 11% em Vila Franca de Xira, 35% em Alcochete, 31% no Montijo e 31% em Sesimbra [56].

3.2 Sistemas de Transporte na AML

A Área Metropolitana de Lisboa, em termos de acessibilidade, é composta por serviços de transporte, que se realizam com recurso aos transportes individual e coletivo. A maioria das deslocações pendulares no seio da AML são feitas através de transportes públicos coletivos rodoviários, ferroviários e fluviais, mesmo havendo constantemente aglomerações no tráfego rodoviário.

As empresas de transporte rodoviário, ferroviário e fluvial na AML são estabelecidas em regime de concessão, por rede ou por linha, sendo as mesmas públicas (de capitais públicos) e privadas.

Relativamente aos transportes urbanos de Lisboa, estes são efetuados pelas empresas públicas Carris e Metropolitano, enquanto os transportes suburbanos (rodoviários, ferroviários e fluviais) são garantidos pela C.P.

Fertagus, Transtejo, Soflusa e por outros operadores rodoviários privados, concessionários de linhas. No concelho do Barreiro, o transporte coletivo rodoviário é prestado diretamente pelos serviços municipalizados da autarquia [57].

3.3 Caracterização dos padrões de mobilidade

Para analisar os padrões de mobilidade da população da FCUL e responder aos objetivos da tese, é necessária uma recolha de informação por meio de inquéritos (ANEXO I), selecionando um foco de estudo, o público-alvo e respetiva área de estudo.

O público-alvo desta amostra é composto por alunos, docentes/investigadores e funcionários. Para tal, foi pensada a realização de inquéritos *online* para alunos e docentes/investigadores. Para funcionários, a abordagem de recolha de dados será presencial, uma vez que estes poderão não ter e-mail institucional ou acesso à internet tão facilitado. Já os alunos e professores têm acesso obrigatório a estes e-mails, tal como acesso a computadores através da faculdade.

3.4 Caracterização do Inquérito

Este inquérito é dividido em várias fases, que poderão ser repartidas em:

- **Perguntas de identificação pessoal**, onde se pode caracterizar os indivíduos em função do sexo, idade e função desempenhada (Aluno, Professor, Investigador e Funcionário) na FCUL, curso, departamento e ano académico.
- **Perguntas relativas ao local de residência**, durante o tempo de aulas, para definir o concelho e a localidade dos indivíduos, podendo avaliar assim uma rota traçada desde o ponto de origem até à faculdade.
- **Perguntas relativas ao meio de transporte**, para averiguar qual o meio de transporte que é utilizado com mais frequência.
- **Perguntas para transporte individual** - caso se verifique o trajeto através de veículo automóvel, são averiguados dados relacionados com mesmo, como o ano, marca, cilindrada, tipo de combustível, número de quilómetros efetuados e se viaja sozinho.
- **Perguntas para transporte público** - caso a opção selecionada pelo inquirido seja qualquer transporte público (autocarro, metro, barco, comboio ou outro), são questionados os quilómetros percorridos, tempo estimado do percurso e a frequência utilizada.
- **Perguntas de satisfação dos transportes públicos**, pretendem saber a satisfação geral da população da FCUL quanto aos sistemas de transportes públicos na cidade de Lisboa e ainda a opinião sobre quais as medidas que poderiam melhorar as suas viagens.
- **Outros** - perguntas onde se tenta apurar a disponibilidade da população para a adesão a sistemas de *carsharing*, *carpooling*, *bikesharing* e a possibilidade de aquisição de um carro elétrico ou mesmo um carro autónomo, mesmo não podendo conduzi-lo.

3.5 Caracterização da amostra

3.5.1 Enquadramento teórico

Na realização de um inquérito é essencial calcular o tamanho da amostra, margem de erro e intervalo de confiança. Assim, para o universo estatístico, pode-se definir tamanho da amostra como a quantidade de resultados obtidos através de inquéritos. Esta representa apenas uma parte da população total.

Já a margem de erro é um indicador em percentagem que designa o grau de correspondência dos resultados da pesquisa em relação ao total da população. Assim, quanto menor a margem de erro, menor será a disparidade entre os resultados e a população total, constituindo, por isso, um método de caracterizar a eficácia do estudo.

O intervalo de confiança é um intervalo estimado de um parâmetro de interesse de uma população. Em vez de estimar o parâmetro por um único valor, é dado um intervalo de estimativas prováveis, ou seja, é a frequência com a qual o intervalo observado contém o parâmetro real de interesse quando a experiência é repetida várias vezes. Por outras palavras, o nível de confiança seria a proporção de intervalos de confiança construídos em vários testes separados da mesma população e com o mesmo procedimento que contém o parâmetro de interesse real. Os intervalos de confiança são tipicamente estabelecidos no nível de confiança de 95%. No entanto, quando apresentados graficamente, os intervalos de confiança podem ser mostrados em vários níveis de confiança, como 90%, 95% e 99% [58][59].

3.5.2 Amostra

Após selecionado o foco de estudo, a população da FCUL, numa primeira fase recorreu-se à recolha dos dados oficiais para averiguar o tamanho da amostra. Obteve-se assim, no ano letivo de 2015/2016, um total de 5 159 alunos. Para os docentes/investigadores e funcionários, os dados são relativos a 31 de dezembro de 2014, onde o número de docentes de carreira (incluindo investigadores) totalizava 399, com um acréscimo de 82 docentes convidados, ou seja, 481 docentes. Quanto ao número de funcionários, contabilizou-se um total de 161. Assim, para o respetivo ano letivo, foi registada uma possível amostra total de 5 801 indivíduos.

Para calcular o tamanho necessário da amostra tendo em conta os seguintes parâmetros: a população total, o nível de confiança pretendido, a margem de erro e a proporção que se espera encontrar (que assume sempre o valor de 50% em qualquer um dos cenários), recorreu-se à fórmula apresentada abaixo (3.1 e 3.2).

$$\text{Tamanho de amostra} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}\right)} \quad (3.1)$$

Em que:

N – Corresponde ao tamanho da população;

z – Corresponde ao nível de confiança, calculado a partir da distribuição de Gauss;

p - Corresponde à proporção que se espera encontrar.

$$\text{Margem de erro} = z \times \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (3.2)$$

Em que:

N – Corresponde ao tamanho da população;

z – Corresponde ao nível de confiança, calculado a partir da distribuição de Gauss;

σ - Desvio padrão da amostra.

Com base nos resultados obtidos através da fórmula anteriormente referida, foi possível criar três cenários diferentes, A, B e C (Tabela 3.1).

Estes foram perspectivados tendo em conta o total populacional das diferentes amostras e os diferentes níveis de confiança e de margem de erro.

Tabela 3.1 - Cenários alternativos com os respetivos tamanhos de amostra (variação da margem de erro).

Grupo	Total (N)	Cenário A		Cenário B		Cenário C	
		z = 95%	e = 2%	z = 90%	e = 2%	z = 90%	e = 5%
Alunos	5159	1639		1274		258	
Docentes / investigadores	481	401		375		174	
Funcionários	161	151		102		102	

No cenário A, encontramos um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 2%, o que resultou numa amostra total de 1 639 alunos inquiridos, 401 docentes/investigadores e 151 funcionários.

No cenário B, a percentagem de margem de erro manteve-se a mesma do cenário anterior, 2%, tendo havido uma alteração do nível de confiança para 90%. Deste modo, o número total de alunos, docentes/investigadores e funcionários alterou-se para 1 274, 375 e 102, respetivamente.

No cenário C, podemos observar amostras necessárias menos otimistas, tais como 258 alunos, 174 docentes/investigadores e 102 funcionários. Este resultado deveu-se ao facto de, face ao cenário anterior, ter aumentado a margem de erro em 3%, e ter mantido o nível de confiança em 90%.

Após a análise dos três cenários, decidi optar, prioritariamente, pelo cenário A, pois apresentava um nível de confiança superior e, por sua vez, uma amostra bastante considerável.

3.6 Métodos numéricos - Caracterização energética e ambiental

Avaliação de emissão de poluentes atmosféricos

Para estimar o cálculo das emissões recorreu-se a três tipos de metodologias baseadas em “*Tiers*”, tal como descrito anteriormente, sendo elas o *Tier 1*, *Tier 2* e *Tier 3*.

Para calcular os valores de emissões anuais para este estudo, foi necessário estimar o total de dias que a população se desloca à faculdade. Para tal, assumiu-se que a comunidade escolar inicia o ano letivo no dia 19 de setembro, não se contabilizando os fins-de-semana. Foram ainda descontadas as férias de Natal e da Páscoa, perfazendo assim um total de 221 dias num ano, número de dias usado em todos os cálculos.

Através do relatório “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016” é permitido obter a metodologia, fatores de emissão e os dados relevantes da atividade de cada tipo de transporte rodoviário, para que, desse modo, possam ser calculadas as emissões de escape [43].

Para a análise do *Tier 1* e *Tier 2* foi feita a seguinte divisão: veículos convencionais (gasóleo e gasolina), outros veículos (GPL, híbridos e motos), veículo coletivo rodoviário e transporte fluvial. Desta forma, procedeu-se à recolha dos fatores de emissão para estes *Tiers*. A pouca quantidade de respostas obtidas nos inquéritos para veículos GPL, híbridos e motociclos - apenas 1 ou 2 para cada tipo - levou-nos a concluir que não é significativo calcular as emissões *Tier 1*, uma vez que se baseiam no consumo específico da frota. O GPL é um derivado do petróleo, também conhecido por gás de petróleo liquefeito.

3.6.1 Emissões *Tier 1*

3.6.1.1 Veículos convencionais

Uma vez que o *Tier 1* se baseia no consumo específico da frota, foi necessário utilizar um carro e, consequentemente, o seu consumo associado em litros por quilómetro (l/km). Para tal, verificou-se qual o modelo e marca do veículo que se repetia mais na amostra. O veículo a gasolina mais registado foi o Honda Jazz 1,2L do ano 2005, com consumos em urbano de 0,068 l/km, extraurbano, de 0,047 l/km e combinado, de 0,053 l/km [60]. Relativamente ao veículo a gasóleo escolhido, foi o Volkswagen golf 1,6L do ano 2013, com consumos em urbano de 0,046 l/km, extraurbano, de 0,035 l/km e combinado, de 0,039 l/km. Para este caso de estudo, foi sempre tido em conta o valor para o perfil de consumo combinado [61].

Para calcular as emissões foi necessária a recolha dos fatores de emissão associados aos diversos tipos de poluentes em (gramas/quilogramas de combustível) para veículos dos dois tipos. Esses valores encontram-se abaixo descritos.

Tabela 3.2 - Fator de emissão para os diversos tipos de poluentes de veículos convencionais (g/kg combustível).

Combustível	CO	COVNM	NO _x	PM	N ₂ O	NH ₃	Pb
Gasolina	84,7	10,05	8,73	0,03	0,206	1,06	3,30E-05
Gasóleo	3,33	0,7	12,96	1,1	0,087	0,065	5,20E-05

Na seguinte tabela podemos observar a massa volúmica [62][63] e o poder calorífico inferior dos seguintes combustíveis convencionais [64].

Tabela 3.3 - Massa volúmica e poder calorífico inferior dos combustíveis convencionais.

Combustível	Massa Volúmica [kg/L]	PCI [MJ/kg]
Gasolina	0,7475	43,5
Gasóleo	0,853	43

Uma vez que o fator de emissão se encontra em (g/kg combustível), é necessário a aplicação da seguinte fórmula abaixo descrita para a obtenção dos valores em gramas por quilómetro.

$$FE_{i,j} \left[\frac{g}{kg} fuel \right] \times \rho \left[\frac{kg}{L} \right] \times consumo\ específico\ do\ veículo \left[\frac{L}{km} \right] \quad (3.3)$$

Onde:

$FE_{i,j}$ - Fator de emissão específico do consumo de combustível do poluente i para a categoria de veículo j (g/kg combustível);

ρ – Massa volúmica dos diferentes combustíveis convencionais (kg/L).

Os valores oriundos da fórmula acima mencionada encontram-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Fatores de emissão (g/km) para os tipos de combustíveis convencionais (valores combinados).

Combustível	CO	COVNM	NO _x	PM	N ₂ O	NH ₃	Pb
Gasolina	3,356	0,398	0,346	0,001	0,008	0,042	1,31E-06
Gasóleo	0,109	0,023	0,427	0,036	0,003	0,002	1,71E-06

Através da equação (3.4), foi possível calcular o número total de emissões num ano (E_i).

$$E_i = \sum (FC_j \times FE_{i,j}) \quad (3.4)$$

Em que:

E_i - Total de emissão de poluentes i;

FC_j - Consumo de combustível da categoria de veículo j (l/km);

$FE_{i,j}$ - Fator de emissão específico do consumo de combustível do poluente i para a categoria de veículo j (g/km combustível).

3.6.1.2 Outros veículos

Tendo em conta o artigo “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016”, os veículos híbridos não são considerados para a análise de “Outros Veículos” através do *Tier 1*, uma vez que não há fatores de emissão associado a estes veículos.

3.6.1.3 Veículo coletivo rodoviário

Para o cálculo do *Tier 1* no sector dos transportes público rodoviário, foi também retirado os valores referência do artigo “EMEP/EEA” – estes encontram em intervalos, os valores máximos correspondem a uma tecnologia não controlada do veículo, enquanto os valores mínimos correspondem à média europeia em 2005 (antes da introdução do Euro IV). Os valores utilizados são médios.

Tabela 3.5 - Fator de emissão para os diversos poluentes em g/kg de combustível.

CO	COVNM	NO _x	PM	N ₂ O	NH ₃
7,58	1,92	33,37	0,94	0,051	0,013

Através do “Relatório anual de sustentabilidade da Carris, 2017” [65]:

Tabela 3.6 - Consumo energético (MJ/pkm) e consumo de combustível (kg/pkm).

Consumo energético [MJ/pkm]	Consumo [kg/pkm]
1,466	0,0341

Para o cálculo das emissões foi necessária a seguinte fórmula:

$$E_{i=} = FE_i \left[\frac{g}{kg \text{ fuel}} \right] \times \text{consumo de combustível} \left[\frac{kg}{pkm} \right] \quad (3.5)$$

Em que:

E_i - Total de emissão de poluentes i;

FE_i - Fator de emissão específico do consumo de combustível do poluente i;

3.6.1.4 Transporte fluvial

Para efetuar o cálculo das emissões originárias dos barcos que atravessam o Tejo, foi possível retirar os fatores de emissão para o *Tier 1* através do artigo “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016”, para *International maritime and inland navigation, national navigation, national fishing, recreational boats* [66][67]. Para o cálculo de emissões foi necessária a recolha da massa volúmica, poder calorífico inferior e o consumo em litros por passageiro quilómetro [68][69].

Tabela 3.7 - Massa volúmica, poder calorífico inferior do gasóleo marítimo e respetivo consumo.

Combustível	Massa volúmica [Kg/L]	PCI [MJ/kg]	Consumo[L/pkm]
Gasóleo marítimo	0,845	40,59	0,088

Tabela 3.8 - Fator de emissão *Tier 1* para os diversos tipos de poluentes em g/kg de combustível.

CO	COVM	NO _x	SO _x	Pb	PM ₁₀	PM _{2,5}
7,4	2,7	79,3	20	0,18	6,2	5,6

Uma vez que o fator de emissão se encontra em (g/kg combustível), é necessária a aplicação da fórmula descrita abaixo para a obtenção dos valores em gramas por passageiro quilómetro (g/pkm) utilizando a densidade e o consumo por passageiro calculado em litros por quilómetro (l/pkm), que podemos ver na Tabela 3.7.

$$FE_{i,m} \left[\frac{g}{kg \text{ fuel}} \right] \times \rho \times Consumo[l/pkm] \quad (3.6)$$

Para o cálculo total de emissões pelo *Tier 1* num ano é necessária a aplicação da fórmula (3.7):

$$E_i = \sum_m (FC_m \times FE_{i,m}) \quad (3.7)$$

Sendo que:

E_i - Total de emissão do poluente i ;

FC_m - Tipo de combustível da categoria m ;

$FE_{i,m}$ - Fator de emissão específico do poluente i que usa o tipo de combustível m ;

ρ - Massa volúmica dos diferentes combustíveis convencionais (kg/L).

3.6.2 Emissões *Tier 2*

Como mencionado anteriormente, o *Tier 2* é um processo muito semelhante ao *Tier 1*, porém, possui outras características que os distinguem. Este utiliza dados específicos do país, características dos combustíveis e legislação/classe de cada veículo (ano de produção do veículo e correspondente cilindrada).

O ano de produção dos veículos nessa categoria foi levado em consideração pela introdução de diferentes classes, que refletem etapas legislativas ('ECE', 'Euro').

Também podemos verificar que PRE ECE e ECE são os regulamentos que eram aplicados aos veículos matriculados em cada estado-membro, produzidos neles ou importados de outras partes do mundo. De seguida encontramos as legislativas com as respetivas diretivas do artigo “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016” [43]:

- PRE ECE (veículos até 1971);
- ECE 15.00 e 15.01 (1972 a 1977);
- ECE 15.02 (1978 a 1980);
- ECE 15.03 (1981 a 1985);
- ECE 15.04 (1985 a 1992);

Após 1992, as chamadas normas "Euro" tornaram-se obrigatórias em todos os estados-membros:

- Euro I 91/441/EEC (1992 a 1996);
- Euro II 94/12/EC (1996 a 2000);
- Euro III 98/69/EC (2000 a 2005);

- Euro IV 98/69/EC (2005 a 2009);
- Euro V (2010 a 2014)
- Euro VI (2014, 2015, 2016, 2017...).

Os veículos a gasóleo produzidos antes de 1992 correspondem à classe “convencional”. Este grupo inclui veículos não regulamentados lançados antes de 1985 e veículos em conformidade com a Diretiva ECE 15/04 (até 1992). Para as outras classes mantêm-se as mesmas dos veículos a gasolina.

3.6.2.1 Veículos convencionais

Na tabela 3.9 – resumo de classes de veículos abrangidos pela metodologia *Tier 2*, podemos verificar a quantidade de veículos por legislação e classe a que são submetidas, pela metodologia *Tier 2*.

Tabela 3.9 - Resumo de classes de veículos abrangidos pela metodologia *Tier 2*.

Gasolina			Gasóleo	
Legislação	Classe	Qt. veículos	Classe	Qt. veículos
ECE	0,8- 1,4	1	1,4-2	1
	1,4-2	2	>2	0
Euro I	0,8- 1,4	0	1,4-2	2
	1,4-2	1	>2	0
Euro II	0,8- 1,4	6	1,4-2	10
	1,4-2	3	>2	2
Euro III	0,8- 1,4	12	<1,4	6
	1,4-2	13	1,4-2	6
			>2	1
Euro IV	0,8- 1,4	13	<1,4	7
	1,4-2	11	1,4-2	21
			>2	2
Euro V	0,8- 1,4	9	<1,4	12
	1,4-2	8	1,4-2	33
			>2	2
Euro VI (2015)	0,8- 1,4	6	<1,4	1
	1,4-2	1	1,4-2	8
			>2	0
Euro VI (2017)	1,4-2	1		

Duas características que se assemelham no *Tier 2* e no *Tier 3* são o ano de fabrico do automóvel e a sua cilindrada, que se compreende numa respetiva legislação/classe, tal como podemos observar na tabela acima.

Nos 6 veículos a gasóleo inseridos na tecnologia EURO III com uma cilindrada <1,4 não existe um fator de emissão associado. Assim, foram considerados na categoria abaixo com uma cilindrada de 1,4-2, obtendo um total de 12 veículos para essa mesma cilindrada.

Tabela 3.10 - Fatores de emissão relativos a veículos a gasóleo quanto à legislação e classe (g/km).

Legislação	Classe	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
<i>Convencional</i>	1,4 -2,0L	0,688	0,159	0,546	0	0,001	1,82E-05	0,2209
Euro I	1,4 -2,0 L	0,414	0,047	0,69	0,003	0,001	1,82E-05	0,0842
Euro II	1,4 -2,0 L	0,296	0,035	0,716	0,005	0,001	1,82E-05	0,0548
Euro II	>2,0 L	0,296	0,1	0,716	0,005	0,001	1,82E-05	0,0548
Euro III	1,4 -2,0 L	0,089	0,02	0,773	0,007	0,001	1,82E-05	0,0391
Euro III	>2,0 L	0,089	0,037	0,77	0,01	0,001	1,82E-05	0,0391
Euro IV	<1,4 L	0,092	0,014	0,58	0,01	0,001	1,82E-05	0,0314
Euro IV	1,4 -2,0 L	0,092	0,014	0,58	0,01	0,001	1,82E-05	0,0314
Euro IV	>2,0 L	0,092	0,014	0,58	0,01	0,001	1,82E-05	0,0314
Euro V	<1,4 L	0,049	0,01	0,61	0,004	0,0019	1,82E-05	0,0021
Euro V	1,4 -2,0 L	0,04	0,008	0,61	0,004	0,0019	1,82E-05	0,0021
Euro V	>2,0 L	0,04	0,008	0,61	0,004	0,0019	1,82E-05	0,0021
Euro VI	<1,4 L	0,04	0,01	0,5	0,004	0,0019	1,82E-05	0,0015
Euro VI	1,4 -2,0 L	0,049	0,008	0,5	0,004	0,0019	1,82E-05	0,0015

Tabela 3.11 - Fatores de emissão relativos a veículos a gasolina quanto à legislação e classe (g/km).

Legislação	Classe	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
PRE ECE	0,8-1,4L	37,3	2,77	1,91	0,01	0,002	1,82E-05	2,20E-03
PRE ECE	1,4 - 2,0 L	37,3	2,8	2,53	0,01	0,002	1,82E-05	2,20E-03
Euro I	1,4 - 2,0 L	3,92	0,53	0,485	0,01	0,0922	1,82E-05	2,20E-03
Euro II	0,8-1,4L	2,42	0,206	0,229	0,006	0,1043	1,82E-05	2,20E-03
Euro II	1,4 - 2,0 L	2,04	0,251	0,255	0,006	0,1043	1,82E-05	2,20E-03
Euro III	0,8-1,4L	2,07	0,089	0,09	0,002	0,0342	1,82E-05	1,10E-03
Euro III	1,4 - 2,0 L	1,82	0,119	0,097	0,002	0,0342	1,82E-05	1,10E-03
Euro IV	0,8-1,4L	0,69	0,048	0,056	0,002	0,0341	1,82E-05	1,10E-03
Euro IV	1,4 - 2,0 L	0,62	0,065	0,061	0,002	0,0342	1,82E-05	1,10E-03
Euro V	0,8-1,4L	0,69	0,048	0,056	0,0013	0,0123	1,82E-05	1,40E-03
Euro V	1,4 - 2,0 L	0,62	0,065	0,061	0,0013	0,0123	1,82E-05	1,40E-03
Euro VI 2016	0,8-1,4L	0,69	0,048	0,056	0,0013	0,0123	1,82E-05	1,40E-03
Euro VI - 2016	1,4 - 2,0 L	0,62	0,065	0,061	0,0013	0,0123	1,82E-05	1,40E-03
Euro VI - 2017	1,4 - 2,0 L	0,62	0,065	0,061	0,0013	0,0123	1,82E-06	1,60E-03

Para calcular as emissões de poluentes atmosféricos foi necessária a recolha de fatores de emissão através de “*EMEP/EEA Road transport 2016 emissions*”, como se pode observar nas tabelas 3.10 e 3.11 para o gasóleo e a gasolina, respetivamente.

Após a obtenção dos fatores é necessário fornecer o número de veículos e a quilometragem anual por tipo de categoria. Pode ser mais facilmente compreendido através da fórmula abaixo.

$$E_{i,j} = \sum_k (N_{j,k} \times M_{j,k} \times FE_{i,j,k}) \quad (3.8)$$

Onde:

$N_{j,k}$ - Número de veículos totais pelo combustível j e classe k;

$M_{j,k}$ - Distância total anual realizada por todos os veículos de combustível j e classe k (km);

$FE_{i,j,k}$ - Fator de emissão específico do poluente i para categoria de veículo j e classe k.

3.6.2.2 Outros veículos

Para os veículos a GPL, híbridos e motociclos também foi recolhido o fator de emissão respetivo e aplicada a equação (3.8) e consequente cálculo de emissões.

Tabela 3.12 - Fatores de emissão dos poluentes associado a veículos a **GPL** (g/km).

Classe	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb
Euro II	2,48	0,342	0,18	0,008	0,1007	1,82E-05

Tabela 3.13 - Fatores de emissão dos poluentes associado a veículos **híbridos** (g/km).

Legislação/Classe	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb
Euro V <1,4L	0,042	0,001	0,013	0,0002	0,0328	1,82E-05
Euro VI 1,4-2,0L	0,043	0,001	0,013	0,0002	0,0327	1,82E-05

Tabela 3.14 - Fatores de emissão para **motociclos** a gasolina(g/km).

Legislação/Classe	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb
Euro I 4 -Tempos <250 cm ³	13,6	1,08	0,445	0,002	0,0019	1,19E-06
Euro III 4-tempos <250 cm ³	3,03	0,541	0,194	0,002	0,0019	1,19E-06

3.6.2.3 Veículo coletivo rodoviário

A Frota de Autocarros de Serviço Público da Carris é composta por 619 autocarros, dos quais 476 são autocarros “standard”[70]. Dentro desta categoria existem 10 modelos, onde a data de produção varia desde a tecnologia Euro II a V (ano 2000-2014). Assim, após análise de dados, verificou-se que o Euro III é a tecnologia onde se inserem mais veículos em atividade na frota, sendo esta a utilizada para os cálculos seguintes.

Tabela 3.15 - Fator de emissão *Tier 2* para os diversos tipos de poluentes para autocarros “standard” (g/km).

Legislação	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
Euro III	2,67	0,409	9,38	0,001	0,0029	1,62E-05	0,207

Para o cálculo total de emissões é necessária a aplicação da fórmula:

$$E_i = \sum (FE_i \left[\frac{g}{km \text{ fuel}} \right] \times \text{distância percorrida}[km]) \quad (3.9)$$

Onde:

FE_i - Fator de emissão específico do poluente i.

3.6.2.4 Transporte fluvial

Tal como descrito na análise de Transporte Fluvial do *Tier 2*, foi possível retirar os fatores de emissão através do artigo “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016”, para *International maritime and inland navigation, national navigation, national fishing, recreational boats*. Utilizando os mesmos valores de densidade e poder calorífico inferior do gasóleo marítimo, Tabela 3.7. No mesmo artigo não se encontram todos os fatores de emissão para o *Tier 2*, procedendo-se ao cálculo apenas para os existentes, tal como verificamos abaixo [66].

Tabela 3.16 - Fator de emissão *Tier 2* para os diversos tipos de poluentes em g/kg de combustível.

CO	COVM	NO _x	SO _x	Pb	PM ₁₀	PM _{2,5}
-	-	60,6	-	-	1,5	1,3

Uma vez que o fator de emissão se encontra em (g/kg combustível), é necessária a aplicação da equação (3.6) para a obtenção dos valores em gramas por passageiro quilómetro (g/pkm), utilizando a massa volúmica e o consumo por passageiro calculado em litros por quilómetro (l/pkm), que podemos ver na Tabela 3.7.

Para o cálculo das emissões *Tier 2* aplicou-se a mesma fórmula, abaixo.

$$E_i = \sum_m \left(\sum_j FC_{m,j} \times FE_{i,m,j} \right) \quad (3.10)$$

Sendo que:

E_i - Total de emissão de poluentes (toneladas);

$FC_{m,j}$ - Tipo de combustível da categoria m utilizado pelos barcos com motor do tipo j;

$FE_{i,m,j}$ - Fator de emissão específico do poluente i por motores do tipo j que usam o tipo de combustível m

3.6.3 Emissões *Tier 3*

Para calcular as emissões do setor rodoviário foi necessário recorrer ao *software* referido anteriormente no capítulo 2.8, COPERT V. Este programa é usado por mais de vinte estados-membros europeus nos seus relatórios de inventários nacionais de emissões para transporte rodoviário, onde podemos encontrar veículos ligeiros de passageiros, veículos ligeiros de mercadorias, pesados de mercadorias e ligeiros e motociclos, podendo-se dividir em outras subcategorias.

Para a presente dissertação foi tido em conta o país Portugal e o ano de 2017 para a elaboração do estudo. Procedeu-se à inserção de todos os dados respetivos à frota em questão (tipo de veículo, combustível, cilindrada, ano de produção, quilómetros percorridos), mas também de fatores de emissão que são calculados pelo *software* e que vão variar, como dito anteriormente, pelo meio de condução e condições climáticas (inseridas pelo utilizador).

Relativamente às condições climáticas, o *software* pede informações ambientais, tais como as temperaturas mínimas, máximas e humidade dos diferentes meses, em Portugal, no ano de 2017. Também é solicitada a pressão de vaporização para os diferentes meses [71][72]. Estes valores foram retirados e podem ser verificados na tabela abaixo.

Tabela 3.17 – Amplitudes térmicas, humidade e pressão de vaporização [71][72].

Mês	Temp. mínima [°C]	Temp. máxima [°C]	Humidade [%]	RVP [kPa]
Janeiro	6,6	14	84	90
Fevereiro	7,4	15,2	81	90
Março	8,5	17,3	78	90
Abril	9,7	18,4	76	90
Maio	11,9	20,8	73	60
Junho	14,7	24,5	67	60
Julho	16,8	27,7	63	60
Agosto	16,8	28	62	60
Setembro	15,6	26	66	60
Outubro	12,8	21,6	75	90
Novembro	9,8	17,5	81	90
Dezembro	7,3	14,9	84	90

As emissões totais de escape do transporte rodoviário são calculadas através da soma das emissões quentes, “hot emissions”, (quando o motor está na temperatura normal de operação) e das emissões “cold-start”, emissões a frio durante a operação transitória do motor térmico. A distinção entre as duas emissões, a fase estabilizada “quente” e a fase momentânea de “aquecimento”, é necessária devido à diferença substancial no desempenho das emissões do veículo durante essas duas condições. As concentrações de alguns poluentes durante o período de aquecimento são muitas vezes maiores do que durante a operação a quente, sendo necessária uma abordagem metodológica diferente para estimar as emissões adicionais durante esse período. O *software* COPERT V também calcula as emissões evaporativas, utilizando a metodologia CORINAIR com a equação principal que se pode ver mais em baixo [73].

Estas emissões podem ser calculadas através das seguintes fórmulas:

$$E_{total} = E_{quente} + E_{frio} + E_{evaporação} \quad (3.11)$$

$$E_{quente}(i, k, r) = N_k \times M_{k,r} \times e_{quente}(i, k, r) \quad (3.12)$$

$$E_{frio}(i, k) = \beta_{i,k} \times N_k \times M_k \times e_{quente}(i, k) \times \left[\frac{e_{frio}(i, k)}{e_{quente}(i, k)} - 1 \right] \quad (3.13)$$

$$E_{evaporação}(k) = 365 \times N_k (e_d + S_c + S_{fi}) + R \quad (3.14)$$

Em que:

N_k - Número de veículos de classe k em funcionamento no período em causa;

$M_{k,r}$ - Quilómetros percorridos pelos veículos de classe k em estradas do tipo r (km/veículo);

$e_{quente}(i, k, r)$ - Fator de emissão do poluente i em g/km, relativamente aos veículos de classe k em estradas do tipo r;

$\beta_{i,j}$ - Fração de quilómetros percorridos com motor frio, para o poluente i e classe do veículo k;

$e_{frio}(i, k)$ - Fator de emissão do poluente i, produzido pelo veículo k;

e_d - Fator de emissão para perdas diurnas, dependendo da mudança da temperatura ambiente e volatilidade do combustível;

S_c - Fator de emissão a quente para veículos equipados com um carburador;

S_{fi} - Fator de emissão a quente para veículos equipados com combustível de injeção;

R - Perdas do veículo durante a sua operação (quente e frio).

As emissões do veículo estão extremamente dependentes das condições de operação do motor. É necessário fazer uma distinção das diferentes situações em que são operados os motores. Ou seja, condução urbana, rural e autoestrada. Entre cada uma delas existe um desempenho e emissões diferentes. Para os diferentes tipos de condução foram utilizados os seguintes valores de referência, em quilómetros por hora, sendo eles 24,9; 50 e 120, respetivamente.

Também no mesmo setor pode conotar “urban peak”, condução realizada numa altura de maior trânsito, e “urban off peak”, condução realizada numa hora sem congestionamento. Assim podemos ver na fórmula a equação utilizada:

$$E_{total(quente/frio)} = E_{urbano} + E_{rural} + E_{autoestrada} \quad (3.15)$$

Neste estudo, o ano de produção dos veículos nessa categoria também foi levado em consideração pela introdução de diferentes classes, que são as mesmas que as averiguadas no *Tier 2*.

3.6.4 Cálculo de dióxido de carbono CO₂

3.6.4.1 Veículos convencionais

Para o cálculo de emissões de dióxido de carbono, não foram utilizados os *Tiers* usados anteriormente, uma vez que apenas estão diretamente dependentes do consumo de combustível de cada categoria de veículo. A obtenção destes valores teria de ser feita através de meios estatísticos. No entanto, uma vez que são desconhecidos os consumos médios (verdadeiros), foi possível calcular as emissões de CO₂ através de outros métodos numéricos.

Para o cálculo do fator de emissão de CO₂ para veículos convencionais, foi utilizada a massa volúmica para os diferentes tipos de combustíveis, Tabela 3.18, fator de emissão em g/g de combustível, bem como valores de consumo combinado dos automóveis escolhidos anteriormente para o cálculo do *Tier 1*, respetivamente, Honda Jazz 1,2L (0,053 l/km) do ano 2005 e Volkswagen golf 1,6L (0,039 l/km) do ano 2013.

Tabela 3.18 - Fator de emissão (g/g combustível) relativo a cada tipo de combustível.

Gasolina	Gasóleo
C ₈ H ₁₈	C ₁₂ H ₂₃
3,088	3,162

Tabela 3.19 - Fator de emissão (gCO₂/km) utilizado de acordo com o respetivo combustível.

Unidades	Gasolina	Gasóleo
gCO ₂ /km	122,328	104,193

Através da fórmula abaixo é possível calcular o total de emissões de dióxido de carbono para cada tipo de combustível.

$$E[g] = FE \left[\frac{g}{km} \right] \times distância\ percorrida [km] \quad (3.16)$$

Onde:

FE - Fator de emissão específico;

Transportes públicos

3.6.4.2 Autocarro

Através do relatório de sustentabilidade da Carris para o ano de 2017 [65], foi possível retirar os gramas equivalentes de petróleo por passageiro quilómetro (gep/pkm), sendo que estes valores abaixo são referentes ao ano de 2014. Como a Agência Internacional de Energia/OECD define que 1 tep^c é igual a 41,868 gigajoule ou seja 41868 megajoule, procedeu-se à conversão para megajoule por passageiro quilómetro.

Tabela 3.20 – Dados retirados do relatório de sustentabilidade da Carris para o ano de 2017 [65].

Gep/pkm	MJ/pkm	kg/pkm
35,02	1,466	0,034

Para se proceder ao cálculo total de emissões de CO₂ foi aplicada a fórmula abaixo:

$$\sum FE \left[\frac{g}{kg} \right] \times consumo \left[\frac{kg}{pkm} \right] \times distância percorrida [km] \quad (3.17)$$

Onde:

FE - Fator de emissão específico;

3.6.4.3 Barco

Através do relatório de sustentabilidade do grupo Transtejo é possível retirar o respetivo fator de emissão de CO₂, sendo este 0,235 gramas por passageiro quilómetro. Com a fórmula seguinte foi possível calcular o total de emissões provenientes dessas deslocações.

$$\sum FE \left[\frac{g}{pkm} \right] \times distância percorrida [km] \quad (3.18)$$

Onde:

FE - Fator de emissão específico;

3.6.4.4 Metro/comboio

Para calcular os gases de efeito de estufa para os meios de transporte metro e comboio, através do “Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability”, do autor Jirí Jaromír Klemes, foi possível retirar o fator de emissões para os gases de efeito de estufa para o ciclo de vida, considerando-se 141,1 g CO₂eq/MJe de combustível [74].

3.6.5 Avaliação de consumos energéticos

Neste estudo, foi analisado o consumo energético para todos os meios de transporte habitualmente utilizados: veículos convencionais e transportes públicos (autocarro, barco, metro e comboio).

Nesta análise considera-se o metro e o comboio, uma vez que são transportes que não produzem emissões diretas.

No caso do transporte ferroviário, este não produz emissões atmosféricas diretas para a atmosfera, devido à existência de tração elétrica. Este meio de transporte é, assim, mais ecológico, uma vez que o

^c unidade de energia referente a tonelada equivalente de petróleo.

equipamento de tração moderno permite uma recuperação de cerca de 33% da energia de tração na travagem, representando assim uma notável eficiência energética.

3.6.5.1 Veículos convencionais

Na análise de consumos energéticos para veículos convencionais, foi necessário calcular o megajoule por passageiro/quilómetro, recorrendo ao consumo específico dos veículos a gasolina -Honda Jazz- e a gasóleo -VW Golf- sendo os valores de 0,053 L/km e 0,039 L/km, respetivamente. Através da fórmula foi possível apurar esses valores:

$$\text{consumo específico} \left[\frac{\text{L}}{\text{km}} \right] \times \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{L}} \right] \times PCI \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right] \quad (3.19)$$

Tabela 3.21 - Megajoule por passageiro/quilómetro para os respetivos combustíveis.

Unidades (MJ/pkm)	Combustível	Urbano	Combinado*	Extra-urbano
	Gasolina	2,18	1,684	1,493
	Gasóleo	1,69	1,43	1,284

*Nota: Valor calculado através da fórmula 3.19, sendo usado para este estudo o valor combinado;

Para o cálculo total foi usada a seguinte equação (3.20).

$$\text{Consumo energético} [\text{MJ}] = \left[\frac{\text{MJ}}{\text{pkm}} \right] \times \text{distância percorrida} [\text{km}] \quad (3.20)$$

3.6.5.2 Autocarro

Para a análise de consumo energético do autocarro, tendo em conta a rede de sustentabilidade da Carris do ano de 2017, foi possível calcular o consumo energético em MJ/pkm como podemos verificar na Tabela 3.22 [65].

Utilizou-se ainda a equação (3.20) para o cálculo total de emissões.

Tabela 3.22 - Unidades utilizadas para o cálculo do consumo energético.

(Gep/pkm)	MJ/pkm
35,02	1,466

3.6.5.3 Barco

No cálculo do consumo energético do barco, foi tido em conta o relatório de sustentabilidade do grupo Transtejo para o ano de 2014 [69], tendo sido possível averiguar o valor de megajoule por passageiro quilómetro: 3,018 (MJ/pkm).

Utilizou-se a equação (3.20) para o cálculo total de emissões.

3.6.5.4 Comboio

Segundo o Relatório de Sustentabilidade CP (Comboios de Portugal) para o ano de 2017 [75], foi possível identificar o valor de megajoule por passageiro quilómetro: 0,3 (MJ/pkm).

Utilizou-se também a equação (3.20) para o cálculo total de emissões.

3.6.5.5 Metro

Para a análise do consumo energético do metro, tendo por base o Relatório de Sustentabilidade Metro de Lisboa 2014 [76], foi possível retirar os seguintes valores:

Tabela 3.23 – Eficiência energética para o meio de transporte metropolitano.

Eficiência energética			
Unidades	Pkm/kWh^d	kWh/pkm	MJ/pkm
	7,821	0,127861	0,460299

Utilizou-se a equação (3.20) para o cálculo total de emissões.

^d Unidade de potência, designada por quilowatt-hora/1 kWh = 3,6 Megajoules;

Capítulo 4 – Resultados

4.1 Análise dos inquéritos do campus da FCUL

4.1.1 Caracterização geral da amostra

Após a conclusão dos inquéritos feitos no campus da FCUL, contabilizou-se uma amostra de 571 respostas, tendo sido excluídas 17 por falta de informação ou por não cumprirem com o preenchimento do inquérito.

O universo da amostra é, assim, composto por 554 respostas válidas, que servirão de base para toda a análise. Obtendo-se assim, uma amostra de cerca de 10% da população total do campus.

A população inquirida da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa é constituída por 54% de mulheres e 46% de homens, tal como se pode observar no gráfico 4.1.

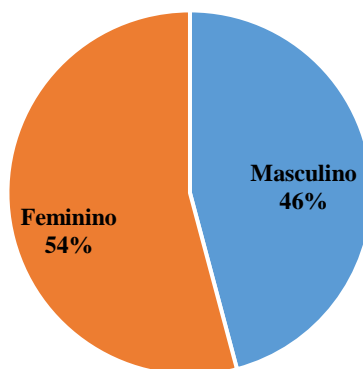


Gráfico 4.1 - Distribuição da população inquirida por género.

A maioria dos inquiridos encontra-se na faixa etária dos 21 aos 25 anos de idade, representando 34% da amostra – Gráfico 4.2. Este dado confirma a maior prevalência de alunos no total dos inquiridos. Tal como se observa no gráfico 4.3, dos 554 inquiridos, 311 são alunos, 65 são docentes, 102 são funcionários, 36 são investigadores e 40 são bolseiros.

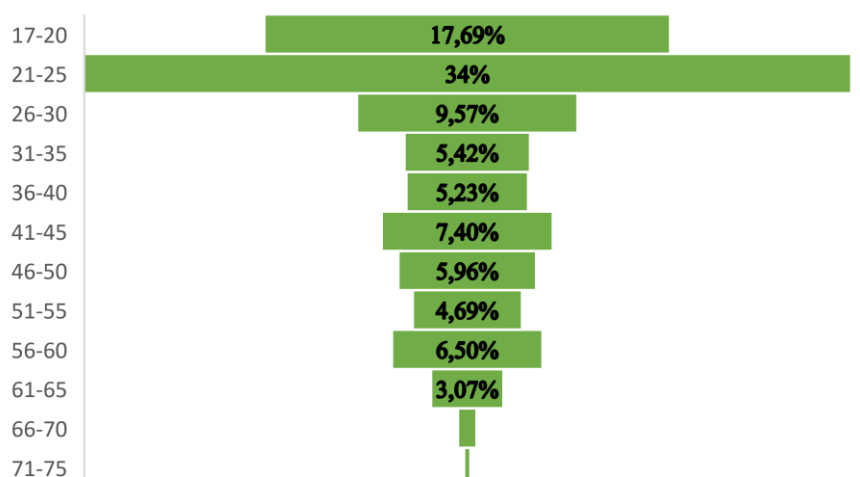


Gráfico 4.2 - Faixa etária dos inquiridos.

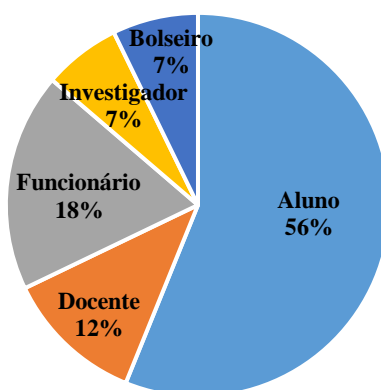


Gráfico 4.3 - Função desempenhada no campus da FCUL

Dos alunos inquiridos, como se observa no gráfico 4.4, mais de metade frequenta o 2º e 3º anos de licenciatura. Dos alunos, bolseiros, investigadores e docentes inquiridos, a maioria pertence ao Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Contudo, somando os dois departamentos de Biologia (Departamento de Biologia Animal e Departamento de Biologia Vegetal), que totalizam cerca de 30% da amostra, verifica-se que este é o departamento com maior representatividade, como se pode ver no gráfico 4.5.

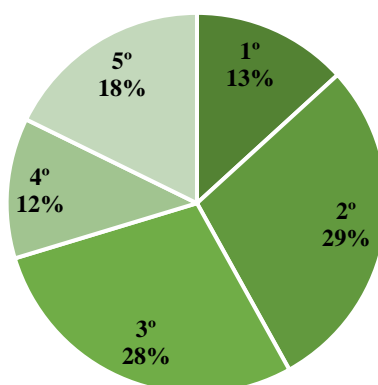


Gráfico 4.4 - Nível académico dos alunos inquiridos.

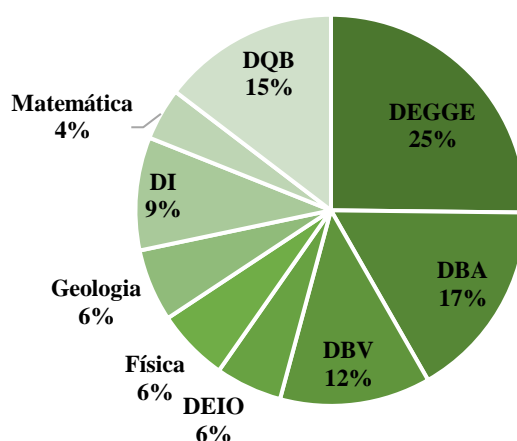


Gráfico 4.5 - Departamento dos inquiridos.

No gráfico 4.6, podemos ver que a maioria dos inquiridos, cerca de 41%, reside no concelho de Lisboa. Além dos concelhos demonstrados na figura abaixo, foram registados outros concelhos com apenas uma ou duas ocorrências, tais como: Alenquer, Arruda dos Vinhos, Carregado, Salvaterra de Magos, Sobral de Monte Agraço, Alpiarça, Azambuja, Cadaval, Cartaxo, Peniche, Benavente, Caldas da Rainha, Alcochete, Moita, Torres Vedras e Corroios.

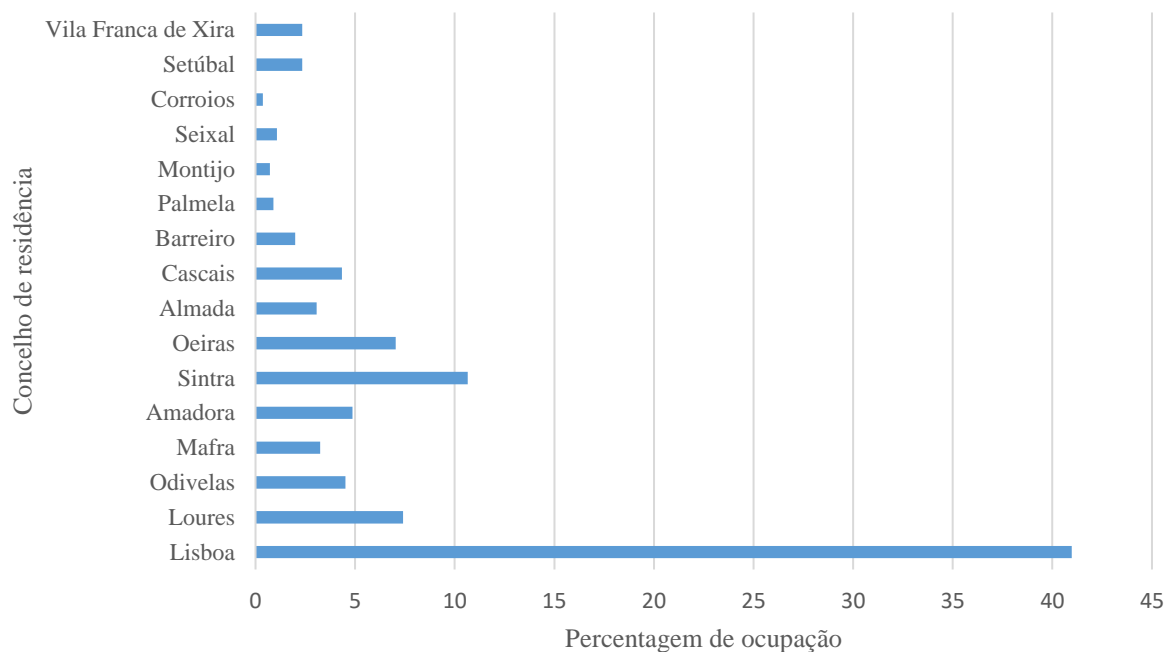


Gráfico 4.6 – Concelho de residência dos inquiridos.

A maioria dos agregados familiares dos inquiridos é composta por 4 pessoas, tal como observado no gráfico 4.7. Verifica-se ainda que a maioria dos agregados familiares possui apenas 1 carro (Gráfico 4.8).

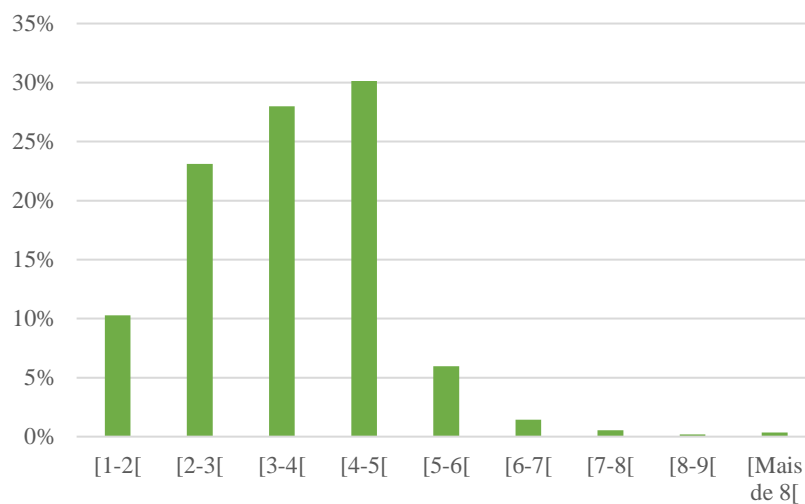


Gráfico 4.7 - Dimensão do agregado familiar.

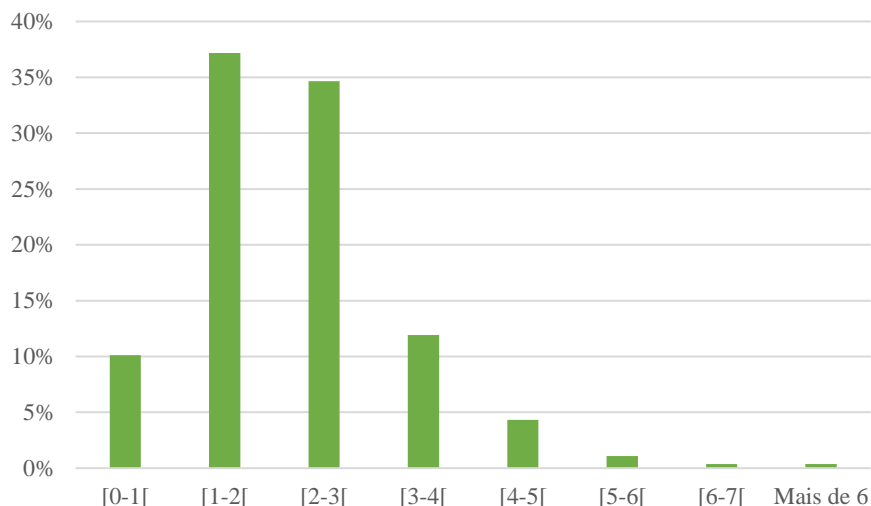


Gráfico 4.8 - Número de veículos por agregado familiar.

Tendo em conta os dados recolhidos para análise, tanto acerca do agregado familiar como do número de carros por agregado, chegamos ao índice de motorização. Este índice permite avaliar o desenvolvimento do transporte em cada país, permitindo correlacioná-lo com o consumo de combustível, emissões associadas e a dependência de transportes motorizados.

O número de total de inquiridos mais o seu agregado familiar perfaz um total de 1 708 pessoas com 946 veículos no total. Após aplicação da fórmula de motorização^e acima descrita, é possível averiguar que o índice de motorização é de 553,86/1 000 habitantes.

Relativamente ao gráfico 4.9, podemos observar que 70% dos inquiridos que leva o carro para a faculdade não transporta mais nenhum passageiro. Do mesmo modo, podemos também verificar que nenhum condutor leva 4 passageiros, ou seja, nenhum leva o veículo completo. Realço ainda que a taxa média de ocupação de passageiros por carro é de aproximadamente 1,34.

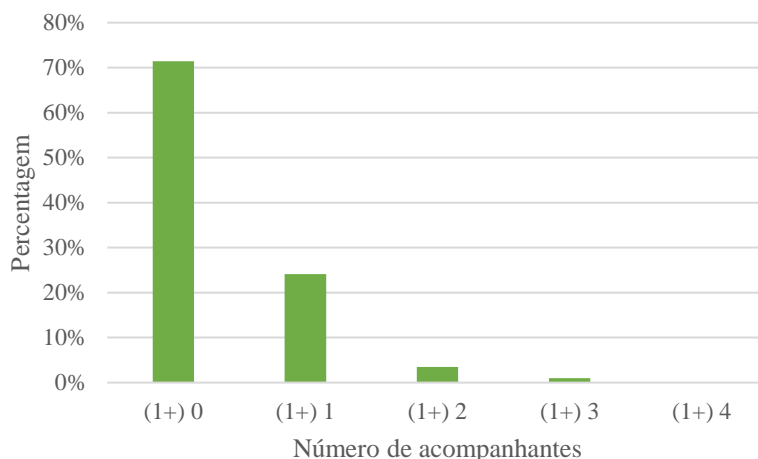


Gráfico 4.9 - Número de ocupantes por veículo.

^e Índice de motorização = $\frac{\text{total de veículos ligeiros} \times 1000}{\text{população total}}$

Em relação à hora de chegada e partida da faculdade, verifica-se que o pico de chegada é às nove horas da manhã, enquanto o pico da saída é pelas seis horas da tarde, tal como verificado nos gráficos 4.10 e 4.11. Estes dados demonstram que a afluência de veículos a entrar e a sair da FCUL é maior durante as horas de maior fluxo de veículos na cidade de Lisboa, ou seja, quando as emissões são produzidas em maior número.

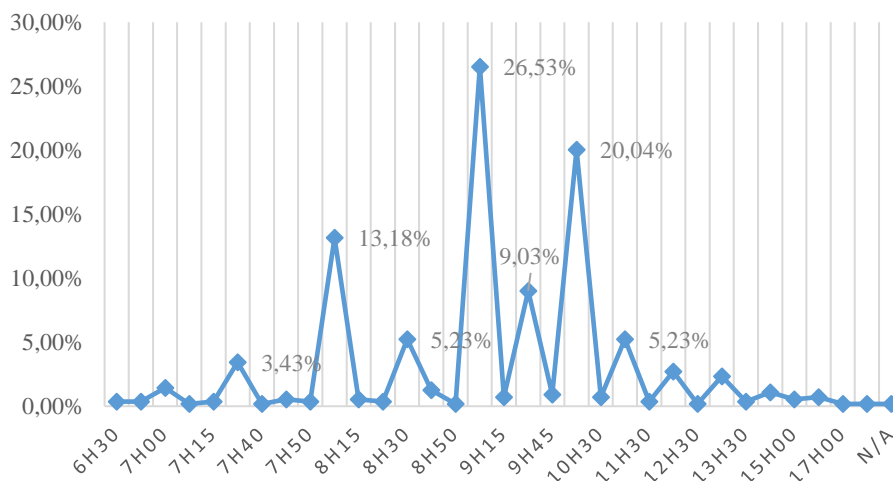


Gráfico 4.10 - Hora de chegada dos inquiridos ao campus da FCUL.

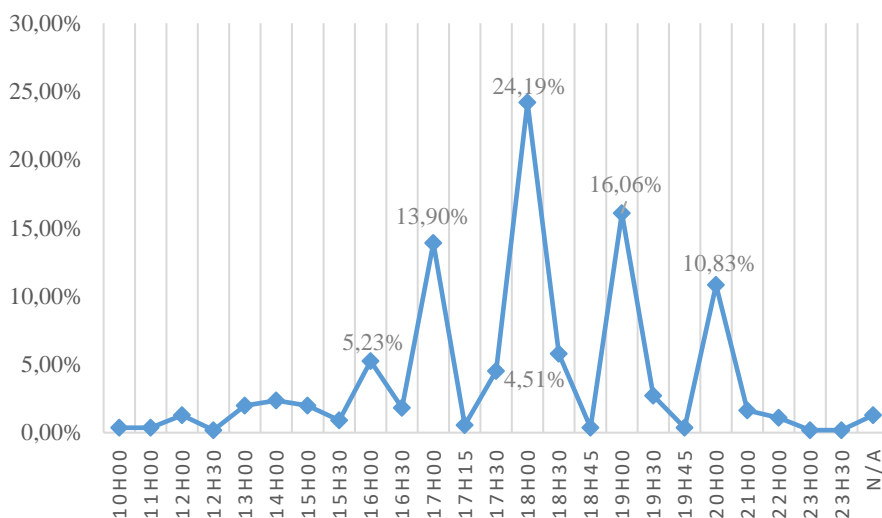


Gráfico 4.11 - Hora de saída dos inquiridos do campus da FCUL.

4.1.2 Caracterização do meio de transporte

Para aferir o meio de transporte com maior taxa de utilização inquiriu-se a população acerca de quais os vários meios a que recorria para se deslocar até à faculdade. Podemos então verificar que a maioria da população da FCUL utiliza com mais frequência os transportes públicos (TP), ficando o carro em segundo lugar, como mostra o gráfico 4.12. No item “Outros veículos” estão incluídos os veículos híbridos, GPL e motocicletas. Dentro dos transportes públicos, podemos verificar que o metro é o mais utilizado, gráfico 4.13.

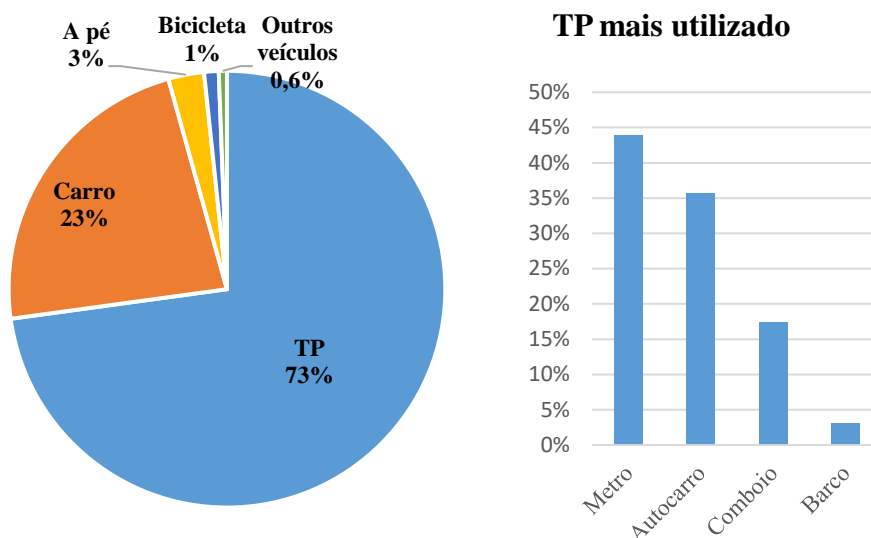


Gráfico 4.12 e 4.13 – Maior frequência do meio de transporte mais utilizado e transporte público mais utilizado.

Em relação ao meio de deslocação, tendo em conta a função do inquirido na FCUL, é possível verificar que os alunos e funcionários utilizam mais os TP em comparação com os outros meios de transporte e a outras funções na FCUL. No caso dos alunos, a utilização dos TP corresponde a mais de 60% dos inquiridos, como verificado no gráfico 4.14.

Constata-se ainda que, pelo contrário, os bolseiros, docentes e investigadores deslocam-se na sua maioria de carro para a FCUL, existindo uma predominância notável por parte dos docentes, com uma frequência de utilização superior a 60%. É também de salientar que os investigadores são a parcela que maior uso dá à bicicleta e os estudantes são os que mais se deslocam a pé. Verifica-se que 15% do universo da amostra afirma utilizar o meio pedonal, apesar de esta utilização não ser relativamente ao total do percurso feito pelo indivíduo, ou seja, está sempre associada a outro meio de transporte, como o carro ou o metro.

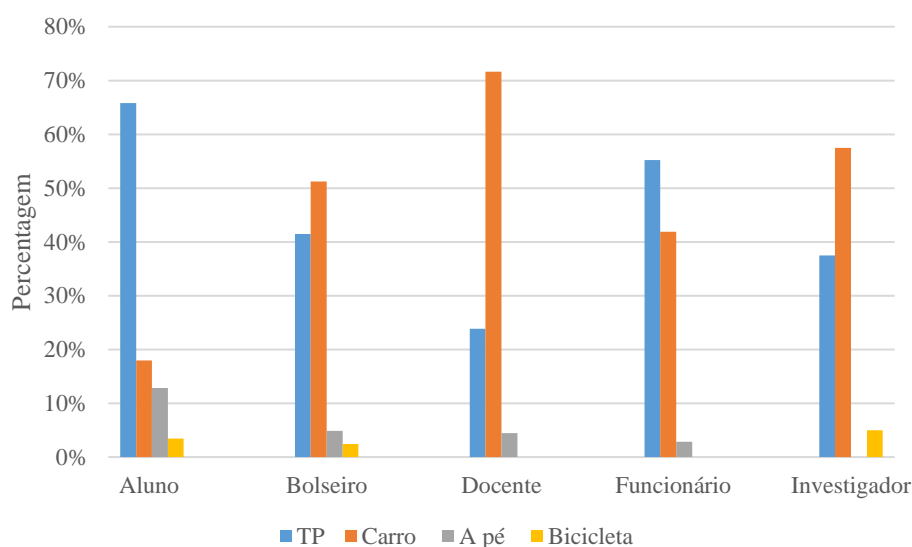


Gráfico 4.14 - Meio de deslocação em relação à função na FCUL.

Tomando especial atenção ao caso dos alunos, podemos verificar que, entre os vários anos de escolaridade e consequentemente de idade, não existe uma diferença significativa de valores relativamente ao meio de transporte utilizado – Gráfico 4.15.

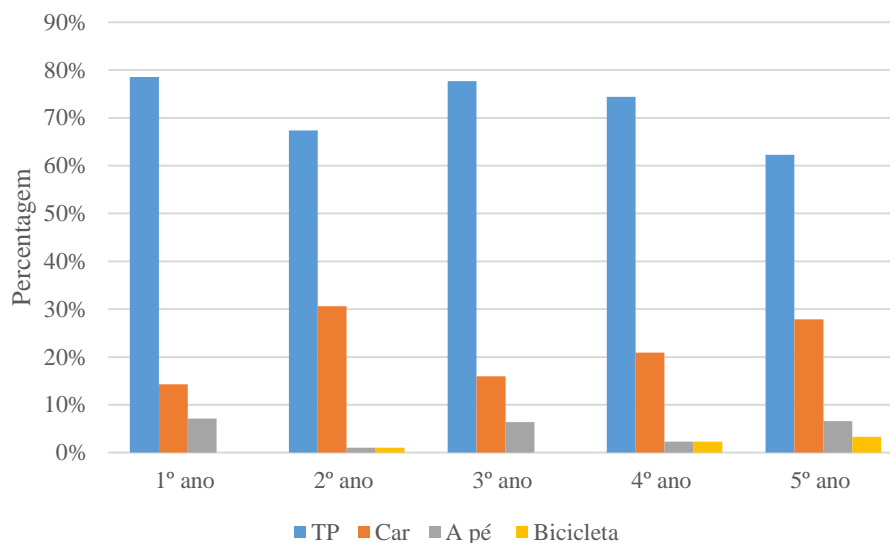


Gráfico 4.15 – Meio de transporte de aluno em relação ao nível académico (alunos).

Com o intuito de perceber se a acessibilidade a transportes públicos seria um fator influenciador do meio de deslocação utilizado pelos inquiridos, isto é, se os residentes do concelho de Lisboa, Amadora e Odivelas – que são servidos por uma ampla rede de transportes públicos - fazem maior uso dos transportes públicos do que os residentes de outros concelhos, com uma rede de transportes públicos menos eficiente, foi gerado o Gráfico 4.16, na qual se compara a deslocação dos residentes do concelho de Lisboa, Amadora e Odivelas com os residentes dos restantes concelhos.

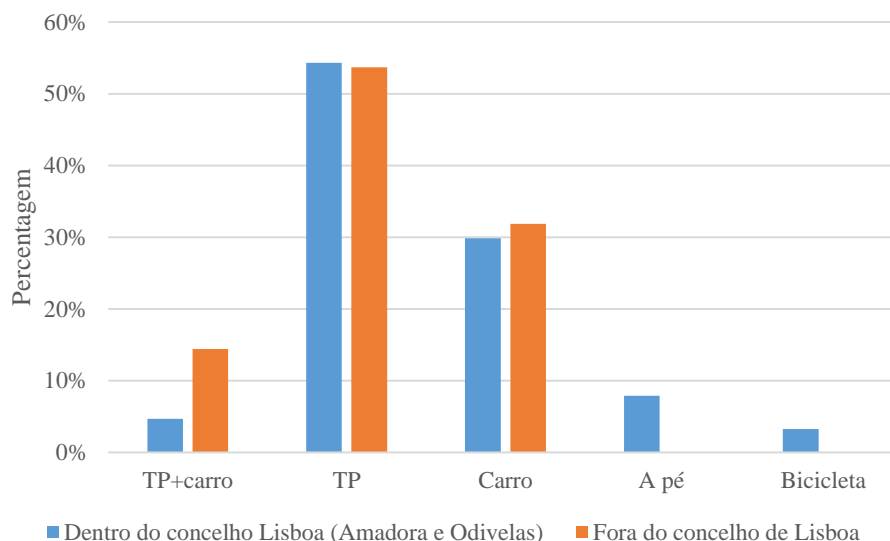


Gráfico 4.16 - Meio de deslocação em relação à residência.

Repara-se que a utilização individual de TP e carro é semelhante entre residentes dos concelhos de Lisboa, Odivelas e Amadora e de concelhos exteriores. Contudo, os residentes de concelhos exteriores têm tendência a utilizar mais a combinação de transportes públicos e carro.

Para estudar a relação do escalão do agregado familiar (valor do rendimento mensal bruto), com o meio de transporte utilizado, construiu-se o Gráfico 4.17 e 4.18. Neste estudo, excluiu-se os alunos, pois depreende-se que estes não estejam tão familiarizados com o assunto em questão.

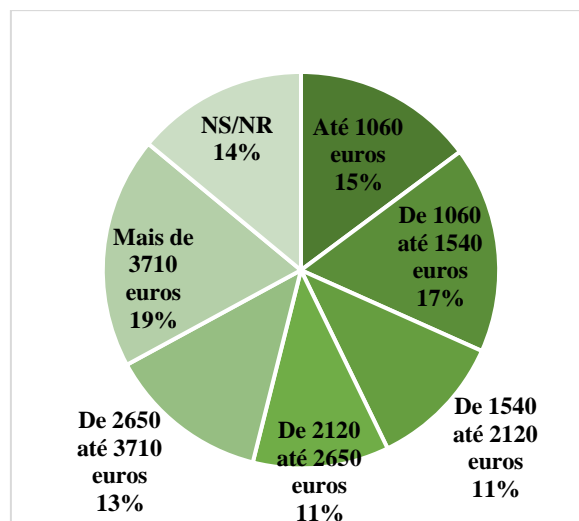


Gráfico 4.17 - Escalão dos inquiridos.

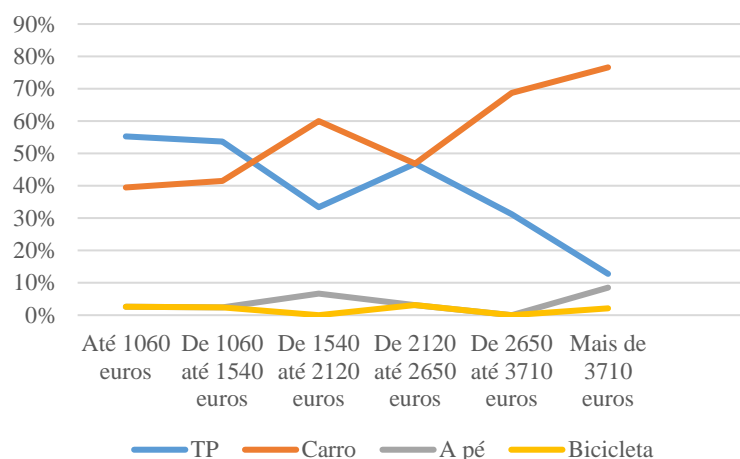


Gráfico 4.18 - Escalão dos inquiridos em relação ao meio de transporte.

Ao analisar a relação entre escalão/meio de transporte, verifica-se que os inquiridos com rendimentos superiores a 3710 euros têm tendência a utilizar o carro em vez de transportes públicos. No caso dos indivíduos com rendimentos até 1540 euros, observa-se o oposto, a utilização de transportes públicos é tida em primazia em relação ao uso do carro. A deslocação de bicicleta e a pé não demonstra grandes variações ao longo dos vários escalões, mantendo-se sempre baixa.

4.1.3 Nível de satisfação dos transportes públicos

Para averiguar a satisfação dos inquiridos face aos transportes públicos, foram avaliados cinco parâmetros: pontualidade, segurança, conforto, custo e satisfação global. Conclui-se que a maioria dos inquiridos considera os transportes públicos satisfatórios de um ponto de vista global e, nestes casos, o parâmetro conforto foi o que obteve percentagens mais elevadas, tal como se verifica no Gráfico 4.19. Em relação ao nível segurança, o quão seguro o indivíduo se sente ao utilizar os transportes públicos, vemos que na sua maioria os inquiridos consideram os transportes públicos bastante seguros. Pelo contrário, o preço dos transportes foi o ponto de maior insatisfação, sendo mesmo considerado mau, sendo apontada por parte dos inquiridos uma grande discrepância proporcional entre valores de bilhetes unitários diários e preço de passe mensal.

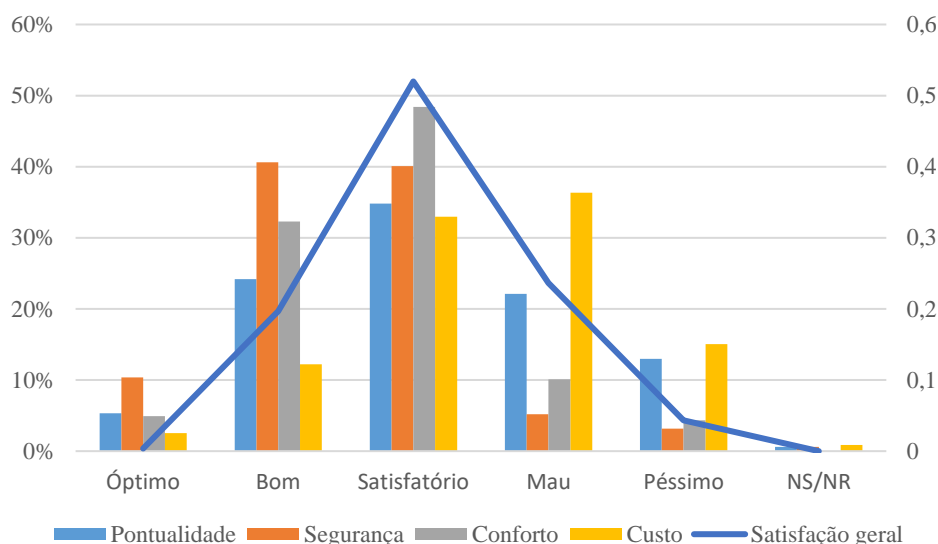


Gráfico 4.19 – Avaliação dos transportes públicos em relação à satisfação.

4.1.4 Caracterização da frota automóvel

Com o resultado dos inquéritos, conseguimos aferir uma frota de 207 veículos, divididos entre gasolina, gasóleo, GPL (gás de petróleo liquefeito), elétrico e híbrido. Nas figuras seguintes podemos encontrar as suas características específicas.

Conforme podemos verificar no gráfico 4.20, a abundância de carros a gasolina e gasóleo é notória, sendo os valores bastantes equiparados.

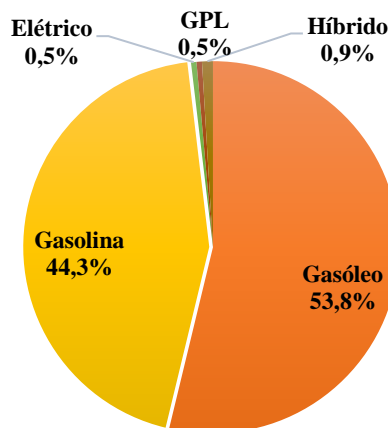


Gráfico 4.20 – Disposição dos veículos por tipo de combustível.

A cilindrada refere-se ao volume de um cilindro entre o ponto superior e inferior do pistão. A capacidade do motor é equivalente à soma de todas as capacidades dos cilindros, que variará de veículo para veículo. Em suma, a cilindrada mede a capacidade do motor, que pode ser medida em litros ou, com maior precisão, em centímetros cúbicos (cm³). Os gráficos 4.21 e 4.22 mostram as várias categorias dos carros a gasolina e diesel, respetivamente, consoante a sua cilindrada, podendo concluir-se que, nos veículos a gasolina, a frota é constituída maioritariamente por veículos de alta cilindrada - cerca de 54%. Já nos veículos a gasóleo verificamos uma elevada percentagem dos veículos com cilindrada média (1,4L-2L) - cerca de 70%.

Cilindrada - Veículos a gasolina

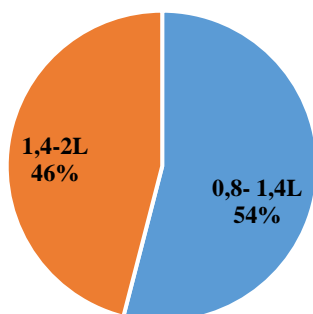


Gráfico 4.21 - Distribuição dos veículos a gasolina pela sua cilindrada.

Cilindrada - Veículos a gasóleo

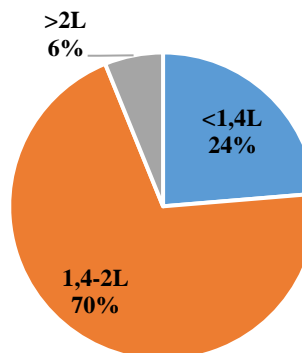


Gráfico 4.22 - Distribuição dos veículos a gasóleo pela sua cilindrada.

4.1.5 Alternativas de mobilidade sustentável

A fim de elaborar propostas de alternativas de mobilidade sustentável para a população da FCUL, foi estudada a predisposição dos inquiridos quanto a algumas dessas medidas: *carpooling*, *carsharing*, *bikesharing*, compra de um veículo elétrico, compra de um veículo autónomo e ser transportado por este.

A primeira medida estudada foi o *carpooling*, e concluiu-se que a maioria dos inquiridos está disposta a recorrer a essa alternativa para uma mobilidade sustentável.

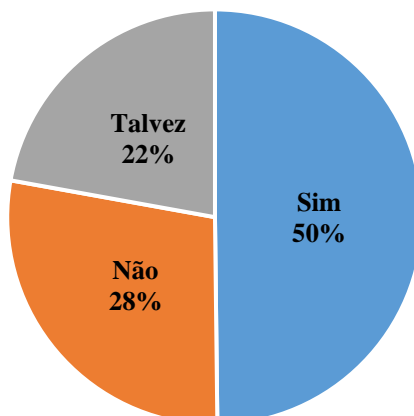


Gráfico 4.23 – Predisposição à utilização do sistema *carpooling*.

Relativamente ao *carsharing*, observa-se que a grande maioria não se mostrou acessível a esta alternativa.

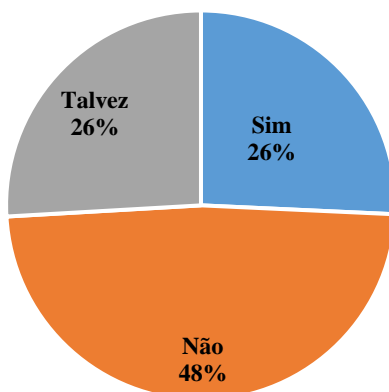


Gráfico 4.24 - Predisposição à utilização do sistema *carsharing*.

Observamos uma grande receptividade à *Bikesharing*, com 45% dos indivíduos a demonstrar interesse nesta alternativa de mobilidade sustentável.

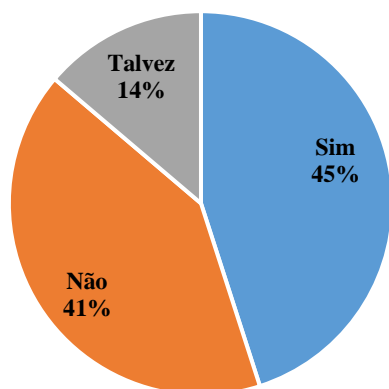


Gráfico 4.25 – Predisposição à utilização do sistema *bikesharing*.

Compra de um veículo elétrico – 35% dos inquiridos referiram que não comprariam um carro elétrico e 32% referiram que “Talvez” o fizessem.

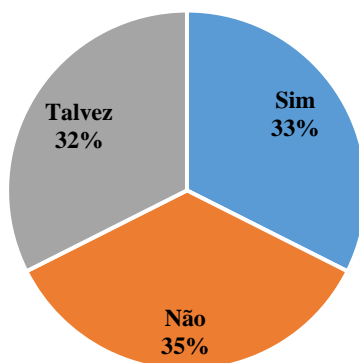
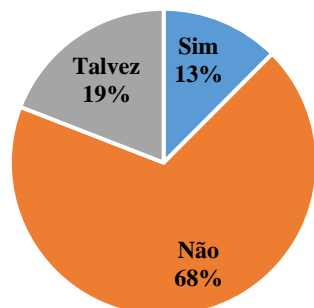


Gráfico 4.26 – Disposição para comprar um veículo elétrico.

Utilização de um veículo autónomo – Mais de metade da população inquirida afirmou que não compraria um carro autónomo. Quanto à possibilidade de serem transportados por um destes carros, 32% referiu que “Sim” e 39% não se mostrou disposto a tal.

Comprar um carro autónomo



Ser transportado por um carro autónomo

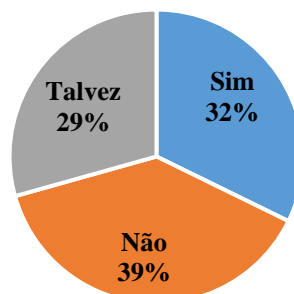


Gráfico 4.27 e 4.28 - Disposição para comprar e ser transportado por um veículo autónomo.

4.2 Distâncias por meio de transporte

Todos os dados obtidos através dos inquéritos por meio de transporte e distâncias médias foram calculados tendo por base as distâncias percorridas, na ida e na volta, para o campus da FCUL, por dia, por número total de veículos, a média de km/dia e a distância total de quilómetros.

4.2.1. Transporte pedonal

Após a análise dos inquéritos foi determinado quantos indivíduos se deslocavam unicamente a pé para o campus da FCUL. Não foram assumidas pequenas distâncias desde o transporte principal até ao seu local de trabalho, uma vez que a maioria dos indivíduos assumiu andar a pé com distâncias reduzidas. Na tabela abaixo pode-se observar os respetivos valores.

Tabela 4.1 - Número de utilizadores e caracterização das distâncias percorridas pelo transporte pedonal.

Nº de utilizadores	Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
22	47	2,14	10387

4.2.1 Bicicleta

Após a análise dos inquéritos foi possível determinar que o meio de transporte bicicleta não é um dos meios de deslocação mais escolhidos para a FCUL. Este dado é compreensível, uma vez que os utilizadores deste meio de transporte fazem em média menos km/dia que os utilizadores de outros transportes.

Dos restantes 545 inquiridos (cerca de 98%), que responderam não usar a bicicleta como meio de transporte, quando questionados acerca da substituição do seu meio de transporte pelo uso da bicicleta (apenas 50% responderam a esta questão, visto não ser de cariz obrigatório), apenas 26% admitiram poder vir a fazer a referida troca. As razões para a recusa da maioria (74%) são várias: as alterações climáticas, a chuva e o frio, a inexistência e mau estado de ciclovias, a coordenação com família e amigos no uso de um veículo comum, o comodismo e o esforço em relação à distância percorrida.

Tabela 4.2 - Número de utilizadores e caracterização das distâncias percorridas pelas bicicletas.

Nº de utilizadores	Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
9	75	8,334	16575

4.2.2 Veículos convencionais

Na análise dos inquéritos observamos ainda que cerca de 36% dos inquiridos utiliza veículos convencionais como meio de transporte de eleição. Desses, 43% utiliza veículos a gasolina, enquanto os restantes 57% utiliza veículos a gasóleo. Observamos ainda uma variação de km/dia consoante o tipo de combustível utilizado, sendo que os utilizadores de veículos a gasóleo andam em média mais 11km/dia do que os utilizadores de veículos a gasolina.

Tabela 4.3 - Número de veículos e caracterização das distâncias percorridas pelos veículos convencionais.

Combustível	Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
Gasolina	2959	34,012	653939
Gasóleo	5150,6	45,181	1138283

4.2.3 Outros Veículos

Do total de inquiridos que utiliza outros veículos próprios, podemos observar que a distância média percorrida por dia é na sua maioria semelhante aos km percorridos por veículos próprios a gasolina e gasóleo. Nas seguintes tabelas verificamos a variação de distâncias percorridas por dia, a distância média e a distância anual destes veículos.

Tabela 4.4 - Número de utilizadores e caracterização das distâncias percorridas de veículos a GPL.

Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
20	20	8840

Tabela 4.5 - Número de veículos e caracterização das distâncias percorridas por veículos híbridos.

Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
80	40	17680

Tabela 4.6 - Número de veículos e caracterização das distâncias percorridas por motociclos.

Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
24	12	5304

Transportes públicos

Na análise dos inquéritos, observou-se que os indivíduos que usam transportes públicos como meio de transporte para a FCUL utilizam na sua maioria mais do que um destes meios no mesmo percurso. Assim

sendo, analisou-se os km percorridos em cada um destes meios de forma individual, mesmo que este transporte não seja o meio em que o indivíduo percorra mais quilómetros.

4.2.4 Veículo coletivo rodoviário

Após a análise dos inquéritos, foi possível contabilizar o total de pessoas que utilizaram autocarro como um dos meios de deslocação até à faculdade e o total de quilómetros efetuados por todos os inquiridos num dia, como se pode ver na seguinte tabela. Observamos que, do total do universo da amostra, 39% dos inquiridos afirma utilizar os veículos coletivos rodoviários como meio de transporte principal, percorrendo em média 26,8 km/dia.

Tabela 4.7 - Caracterização das distâncias realizadas pelos inquiridos que utilizam autocarro.

Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
5794,2	26,825	1280518

4.2.5 Transporte fluvial

Através dos inquéritos foi possível obter o número de passageiros da Soflusa e da Transtejo, tendo-se calculado a distância percorrida por dia, distância média e distância por ano. Mediante o uso do *Google maps*, é possível saber quantos quilómetros têm as ligações/travessia entre margens, reconhecido e assumido pelo grupo ligações fluviais TTSL. Observa-se que todos os indivíduos que utilizam este meio de transporte, utilizam outro meio de transporte associado, para finalizar o seu percurso, uma vez que não é possível chegar à FCUL de barco.

Tabela 4.8 - Caracterização das distâncias percorridas pelo transporte fluvial.

Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
288	18	63648

4.2.6 Transporte ferroviário

Na análise dos inquéritos, observa-se ainda a utilização do comboio como meio de deslocação. Este meio de transporte apresenta uma média de distância km/dia elevada, comparando com outros meios de transporte, tendo sempre associado um outro meio de deslocação para a chegada ao campus da FCUL, seja o metro ou a viagem a pé.

Tabela 4.9 - Caracterização das distâncias percorridas pelo comboio.

Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
4334	39,045	957814

4.2.7 Metropolitano

Após a análise dos inquéritos, observa-se que o metro é um dos meios de transporte mais utilizados. Isto porque não se contabilizam apenas os utilizadores do meio de transporte único (metro), mas também todos aqueles que dizem utilizar mais do que um meio de transporte para a sua chegada à FCUL. Pode

ainda concluir-se que as viagens realizadas são mais curtas, levando assim a uma distância média mais reduzida.

Tabela 4.10 - Caracterização das distâncias percorridas pelo meio de transporte – metro.

Distância percorrida [km/dia]	Distância média [km/dia]	Distância total [km/ano]
3131,6	12,185	692083,6

Para melhor visualização foi realizado o seguinte gráfico 4.29, com as distâncias médias por pessoa, percorridas por dia.

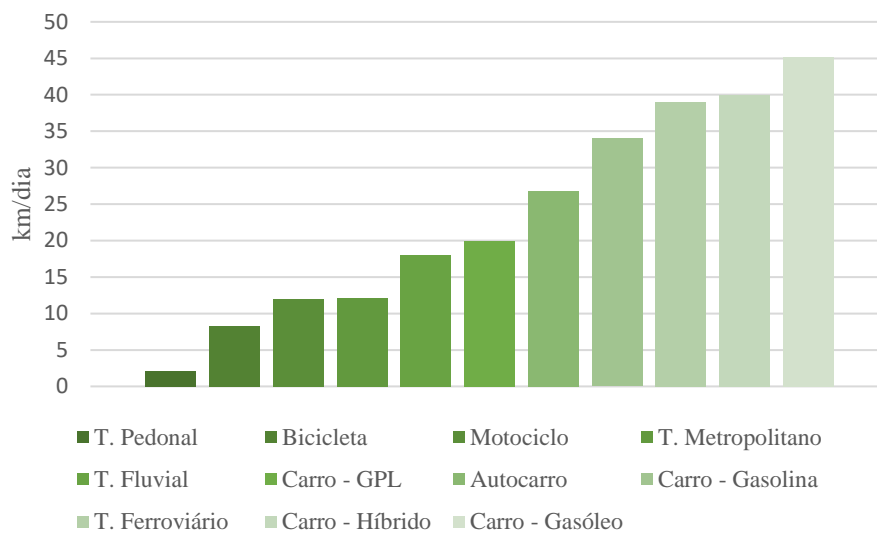


Gráfico 4.29 - Distâncias média por pessoa em quilómetros por dia (km/dia).

4.3 Emissões do campus

Na presente dissertação foram tidos em conta os dados obtidos anteriormente, relativos ao consumo de energia e fatores de emissões, calculando-se de seguida estes valores anuais e em média por pessoa/ano para cada tipologia de veículo.

4.3.1 Poluentes

Nas seguintes tabelas é possível observar o valor final das emissões para cada tipo de poluente, dividido pela metodologia *Tier* e por tipo de transporte. Para os veículos híbridos, GPL e motociclos as emissões foram calculadas em gramas por ano, uma vez que a amostra de veículos não é significativa. Já os restantes foram calculados em toneladas por ano.

4.3.1.1 Veículos a gasolina – Tier 1, 2 e 3

Tabela 4.11 – Emissões anuais para cada tipo de poluente e Tier correspondente para veículos a gasolina (toneladas/ano).

<i>Tiers</i>	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
1	2,194	0,26	0,226	0,464	0,03	8,55E-07	0,0008
2	1,422	0,105	0,19	0,002	0,026	1,00E-06	0,0009
3	0,794	0,067	0,081	0,002	0,025	1,52E-05	0,0074

4.3.1.2 Veículos a gasóleo – Tier 1, 2 e 3

Tabela 4.12 – Emissões anuais para cada tipo de poluente e Tier correspondente para veículos a gasóleo (toneladas/ano).

<i>Tiers</i>	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
1	0,125	0,027	0,486	0,004	0,002	1,95E-06	0,047
2	0,112	0,027	0,62	0,019	0,134	1,23E-02	0,033
3	0,112	0,013	0,7342	0,008	0,002	2,65E-05	0,037

4.3.1.3 Veículos híbridos – Tier 2 e 3

Tabela 4.13 – Emissões anuais para cada tipo de poluente e Tier correspondente para veículos híbridos (gramas/ano).

<i>Tiers</i>	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
2	751,4	17,68	229,84	3,536	579,02	0,322	-
3	800	1400	0,0002	0	200	0,411	175,49

4.3.1.4 Motociclos – Tier 2 e 3

Tabela 4.14 – Emissões anuais para cada tipo de poluente e Tier correspondente a motociclos (gramas/ano).

<i>Tiers</i>	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
2	48774,7	4537,13	1810	10,608	10,078	0,006	-
3	12400,1	4070	1000,38	0	0	0,058	175,49

4.3.1.5 Veículos GPL – Tier 2 e 3

Tabela 4.15 – Emissões anuais para cada tipo de poluente e Tier correspondente para veículos a GPL (gramas/ano).

<i>Tiers</i>	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
2	10961,6	1511,64	795,6	35,36	445,09	0,08	-
3	400,02	0	0	0	0	0	0

4.3.1.6 Autocarro – Tier 1, 2 e 3

Tabela 4.16 – Emissões anuais para cada tipo de poluente e Tier correspondente aos autocarros (toneladas/ano).

<i>Tiers</i>	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
1	4,176	1,056	18,384	0,028	0,007	2,86E-05	0,052
2	3,419	0,524	12,012	0,001	0,004	2,07E-05	0,265
3	2,228	0,3518	8,948	0,003	0,002	1,35E-04	0,255

4.3.1.7 Transporte fluvial – Tier 1 e 2

Tabela 4.17 – Emissões anuais para cada tipo de poluente e Tier correspondente ao transporte fluvial (Transtejo) (toneladas/ano).

Tiers	Transtejo						
	NO _x	CO	COVNM	SO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	Pb
1	0,023	0,002	0,001	0,006	0,002	0,002	5,32E-05
2	0,018	-	-	-	0,001	0,0001	-

4.3.2 Dióxido de Carbono

Apresenta-se de seguida os valores obtidos tendo em conta o GEE, dióxido de carbono, para veículos convencionais, veículos coletivos rodoviários, transporte fluvial, comboio e metro.

4.3.2.1 Veículos convencionais

Para o cálculo final de emissões de CO₂ foi necessário utilizar um fator de emissão, relacionando-o com o consumo específico e massa volúmica dos veículos utilizados ao longo da análise. Foram estes, para veículos a gasolina, o Honda Jazz 1.2L (0,053 l/km), do ano 2005 e, para veículos a gasóleo, o Volkswagen golf 1.6L (0,039 l/km), do ano 2013, em consumo combinado. O resultado foi um fator para veículos a gasolina de 122,328 gCO₂/km e para veículos a diesel um fator de 104,193 gCO₂/km.

Tabela 4.18 - Valores totais de CO₂ e em média por pessoa num ano (toneladas/ano).

Unidade	Tipo de combustível	Total	Média por pessoa
Ton/ano	Gasolina	79,9948	0,9195
	Diesel	118,6011	1,0404

Tendo em conta o relatório da Agência Europeia do Ambiente, presente no enquadramento teórico desta dissertação, pode-se observar que os valores de gCO₂/km em 2016 para os veículos a gasolina é de 114,2, e para veículos a gasóleo é de 117,9. Comparando os valores obtidos na análise do fator de emissão com os dados do relatório da AEA, verifica-se que para os veículos a gasolina tem um valor ligeiramente superior, já para os veículos a gasóleo apresentam valores inferiores.

4.3.2.2 Transportes públicos

Foram também calculadas as emissões de CO₂ dos passageiros que usam os transportes públicos para as suas deslocações até ao campus da FCUL, sendo eles o autocarro, o barco, o comboio e o metro. Procedeu-se ao cálculo destas emissões totais e por utilizador em toneladas por ano.

Tabela 4.19 - Total de toneladas de CO₂ por passageiro km num ano e por utilizador (tonelada/ano).

Unidade	Tipo de transporte	Total	Por utilizador
Ton/ano	Autocarro	138,049	0,639116
	Barco	0,935	0,058452
	Comboio	29,198	0,263048
	Metro	44,959	0,17494

No gráfico abaixo podemos observar as emissões de CO₂ *per capita* para os todos os transportes públicos (transporte fluvial, metropolitano, ferroviário e rodoviário) e veículos individuais convencionais num período de um ano letivo.

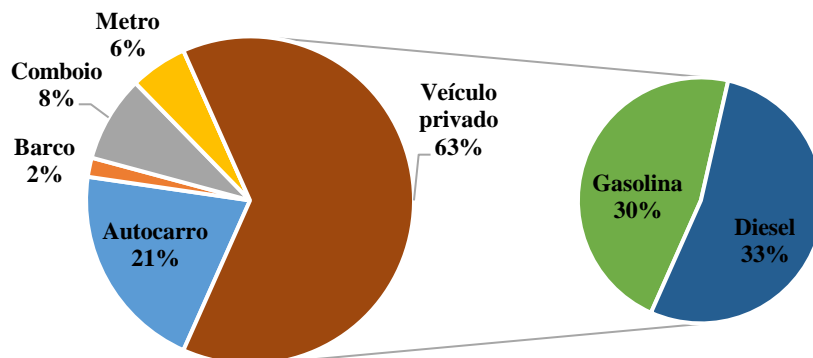


Gráfico 4.30 – Emissões de CO₂ *per capita* para os transportes públicos e automóvel individual (gasolina e gasóleo) (toneladas/ano).

4.4 Consumo energético total

4.4.1 Veículos convencionais

Após a obtenção das distâncias totais percorridas, chegou-se aos valores finais de consumo energético para cada tipo de veículo. Observa-se que o valor de consumo energético é bastante superior para veículos a gasóleo, uma vez que os quilómetros percorridos anualmente com estes veículos são substancialmente superiores aos quilómetros percorridos por veículos a gasolina.

Tabela 4.20 – Energia total usada e por pessoa num ano (MJ/ano).

Unidades	Combustível	Total	Por utilizador
MJ/ano	Gasolina	1101066	12655,93
	Gasóleo	16282912	14283,26

4.4.2 Transportes públicos

Para os transportes públicos, foram calculados os consumos energéticos para cada tipo de transporte, valores totais e por um único utilizador. Verifica-se que, dos transportes analisados, o autocarro é o transporte com maior consumo energético, enquanto que o barco é o transporte que apresenta menor consumo energético. No entanto, o metro é o transporte que apresenta valores de consumo energético mais agradável para uma mobilidade sustentável, visto que é o transporte mais suscetível de utilização por parte da amostra da FCUL.

Tabela 4.21 - Energia total usada pela população e por utilizador da FCUL num ano, para os respetivos transportes públicos.

Transportes públicos			
Unidade	Tipo de transporte	Total	Por utilizador
MJ/ano	Autocarro	18775181	10148,75
	Barco	12006,7	750,42
	Comboio	287344,2	2588,69
	Metro	318565,5	1239,56

Para melhor avaliação e visualização das tabelas 4.20 e 4.21, segue-se o gráfico 4.31, onde se analisa a energia usada *per capita* de todos os transportes utilizados em megajoules num ano.

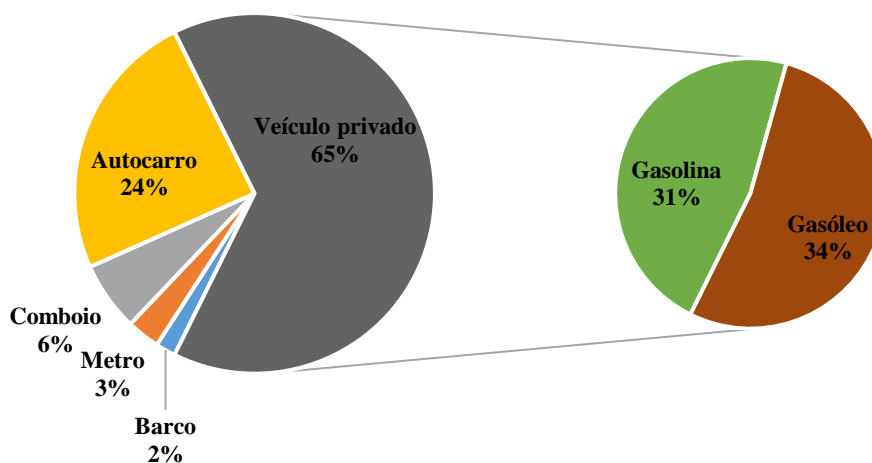


Gráfico 4.31 – Energia usada por usuário para os transportes públicos e automóvel individual (gasolina e gásóleo) (MJ/ano).

4.5 Impacto global

Esta dissertação tem como principal objetivo a identificação global de todas as emissões emitidas por todos os inquiridos, ou seja, alunos, docentes/ investigadores, funcionários e bolseiros da FCUL, tendo em conta os seus meios de transporte e que realizam por dia apenas uma viagem de ida e volta para o campus. Como tal, foram escolhidos os seguintes poluentes CO, COVNM, NO_x, N₂O, NH₃, Pb e PM_{2,5} para análise anual. Para o cálculo destas emissões foi utilizado o método de *Tiers*, sendo importante relembrar que o *Tier 3* não inclui os valores para o transporte fluvial, uma vez que o *software* COPERT visa apenas o cálculo das emissões de poluentes atmosféricos provenientes do transporte rodoviário. Obteve-se ainda o valor de dióxido de carbono, através de métodos numéricos, tal como explicado anteriormente. Para o cálculo final das emissões anuais, foram tidos em conta cada um dos poluentes por cada tipo de transporte num ano.

Tabela 4.22 – Emissões anuais de todos os inquiridos para os diferentes poluentes dividido pelos respetivos *Tiers* (toneladas/ano).

<i>Tiers</i>	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
1	6,497	1,343	19,12	0,074	0,016	0,03	0,052
2	5,013	0,663	12,752	0,021	0,045	0,012	0,298
3	3,148	0,437	9,764	0,012	0,030	1,8E-04	0,299

Tabela 4.23 – Emissões anuais de dióxido de carbono de todos os inquiridos (toneladas/ano).

Unidade	CO ₂
Ton/ano	411,74

4.5.1 Cenário A. Valores Total Campus da FCUL

Uma vez que o campus da FCUL é constituído por 5 801 pessoas e assumindo que o meio de transporte seria proporcionalmente similar para todas as pessoas do campus em relação aos inquiridos e que haveria a estandardização desses mesmos meios, calculou-se as emissões para o campus da FCUL. Para tal, procedeu-se ao cálculo anual e foi necessário ter em conta também os 221 dias de deslocações de período de aulas e exames, como podemos observar na tabela abaixo.

Tabela 4.24 – Emissões anuais para população total do campus da FCUL (cenário) (toneladas/ano).

<i>Tiers</i>	CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
1	68,036	14,067	200,206	0,77	0,163	0,313	0,545
2	52,496	6,941	133,523	0,219	0,467	0,129	3,121
3	32,959	4,579	102,242	0,13	0,31	0,002	3,136

Tabela 4.25 – Emissões anuais para população total do campus da FCUL (cenário) (toneladas/ano).

Unidade	CO ₂
Ton/ano	4311,36

4.6 Comparação de indicadores com outros institutos

Para melhor avaliar e compreender as emissões emitidas pelo universo da amostra da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), decidiu-se comparar estas emissões com outros Campus que realizaram estudos semelhantes: o Instituto Superior Técnico (IST) e a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) como alvo desta análise. O IST, por ser uma instituição pertencente à Universidade de Lisboa e ser próxima da FCUL, tendo as mesmas condições de meios de transporte, e a UTAD, por ser uma instituição bastante distante da FCUL e ter diferentes meios de deslocação, podendo apresentar valores díspares dos recolhidos nesta análise.

No caso da UTAD não foram recolhidos dados por parte do dissertante para a comparação de emissão de poluentes, tendo sido apenas analisados os valores de CO₂.

4.6.1 Emissões produzidas pelo Instituto Superior Técnico

De forma a comparar os valores desta dissertação com as emissões produzidas pelo IST, analisou-se a dissertação “Avaliação Energética e Ambiental das viagens pendulares de alunos do IST” de 2008, da aluna de mestrado Ana Marta de Vitorino Faria, do Instituto Superior Técnico. Nesta dissertação foi tido em conta o impacto global para as viagens pendulares de alunos e docentes assumindo 200 dias e tendo por base uma amostra de 238 inquiridos. Foram obtidos os valores da tabela abaixo, para os seguintes poluentes:

Tabela 4.26 – Emissões resultantes dos inquiridos do IST (toneladas/ano) [54].

CO	NO _x	COVNM	PM	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
2,697	1,361	0,298	0,037	0,031	0,015	364,14

Tendo em conta os valores analisados para o IST procedeu-se à comparação destes valores com os da FCUL, replicando os dados desta mesma análise para uma idêntica quantidade de indivíduos e o mesmo período anual da amostra desta dissertação, ou seja, assumiu-se que o universo da amostra do IST teria as mesmas 554 respostas e 221 dias. Obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 4.27 – Emissões resultantes do IST com os mesmos dados desta dissertação (toneladas/ano).

CO	NO _x	COVNM	PM	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
6,936	3,501	0,765	0,095	0,08	0,04	936,62

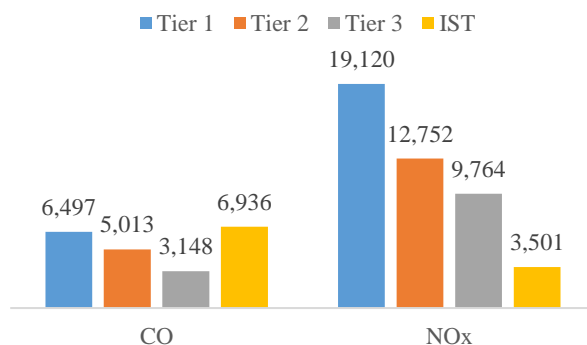


Gráfico 4.34 – Comparação das emissões de poluentes (CO, NO_x) (toneladas por ano).

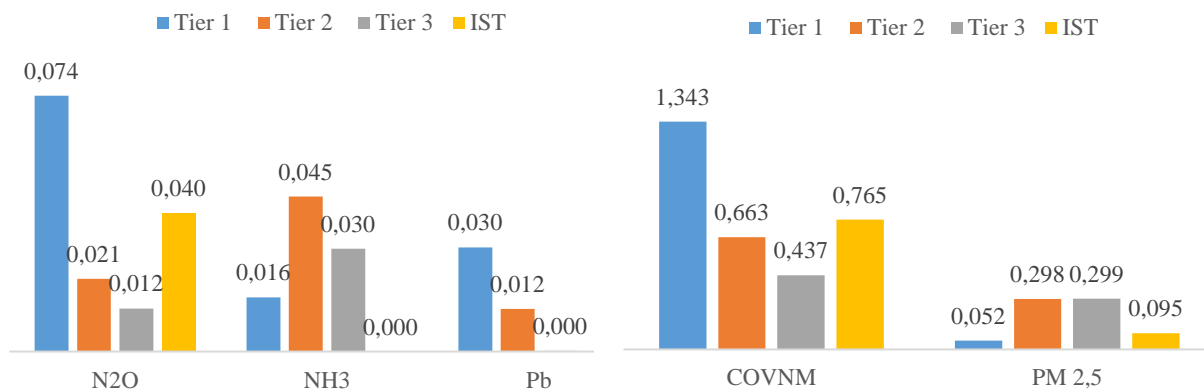


Gráfico 4.32 e 4.33 - Comparação das emissões de poluentes (N₂O, NH₃, Pb, COVNM e PM_{2,5}) (toneladas por ano).

4.6.2 Emissões *per capita* - poluentes

Para se comparar os valores de emissões por pessoa entre os vários campus, FCUL e IST, num ano de 221 dias considerados na execução desta dissertação, obteve-se a tabela abaixo, onde estes valores são calculados em quilogramas (kg). Note-se que não foi possível o cálculo de NH_3 e Pb, uma vez que estes valores não foram calculados na dissertação do IST.

Tabela 4.28 – Emissões por pessoa para 221 dias para o campus da FCUL (dividido por *Tiers*) e IST (kg/ano).

Unidades		CO	NO _x	COVM	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
kg/ano	Tier 1	15,396	45,305	3,182	0,174	0,037	0,071	0,123
	Tier 2	11,880	30,217	1,571	0,050	0,106	0,029	0,706
	Tier 3	7,459	23,138	1,036	0,028	0,070	4,2E-04	0,710
	IST	12,519	6,319	1,381	0,072	n.a	n.a	0,173

Para melhor compreensão da Tabela 4.28, segue-se os gráficos abaixo.

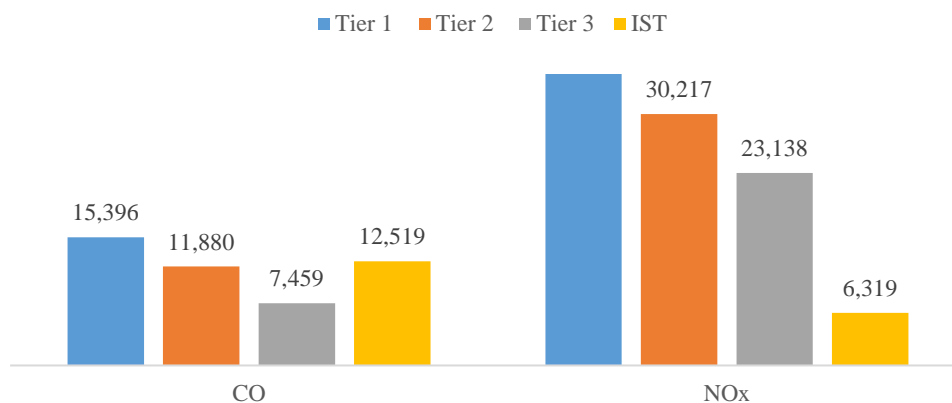


Gráfico 4.35 - Comparação das emissões dos poluentes (CO e NO_x) entre os *Tiers* (FCUL) e IST *per capita* (kg/ano).

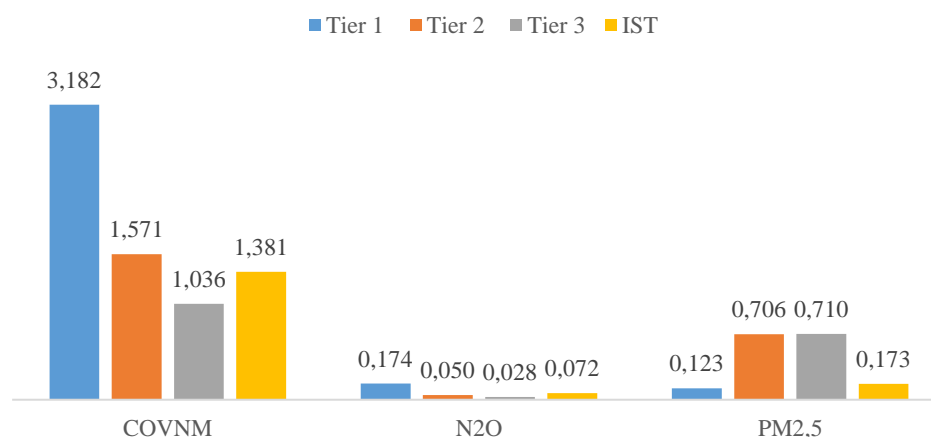


Gráfico 4.36 - Comparação das emissões dos poluentes (COVM, N₂O e PM_{2,5}) entre os *Tiers* (FCUL) e IST *per capita* (kg/ano).

4.6.3 Comparações de CO₂

Na análise comparativa das emissões de CO₂, obteve-se os valores de todos os campus, FCUL, IST e UTAD.

De forma a comparar os valores de emissões de CO₂ produzidas pelo campus UTAD, analisou-se a dissertação “Mobilidade Urbana Sustentável – O Campus da UTAD”, de 2009, da aluna de mestrado Sílvia Carina Alves da Silva, da UTAD. Nesta dissertação foi tido em conta o impacto global para as viagens pendulares de alunos, docentes e funcionários, assumindo 165 dias, tendo sido necessária a extrapolação de valores para os 221 dias e o mesmo número de inquiridos, como nos restantes institutos. Os valores de CO₂ de ambos os campus foram calculados através de métodos numéricos usando fatores de emissões específicos, obtendo-se assim os valores em toneladas de CO₂ por pessoa num ano, como podemos ver na tabela e gráfico abaixo.

Tabela 4.29 - Emissão total e *per capita* de CO₂ num ano para os diferentes institutos (tonelada/ano).

Instituto	Total	Por utilizador
FCUL	411,74	0,743
IST	936,62	1,691
UTAD	1093,07	1,973

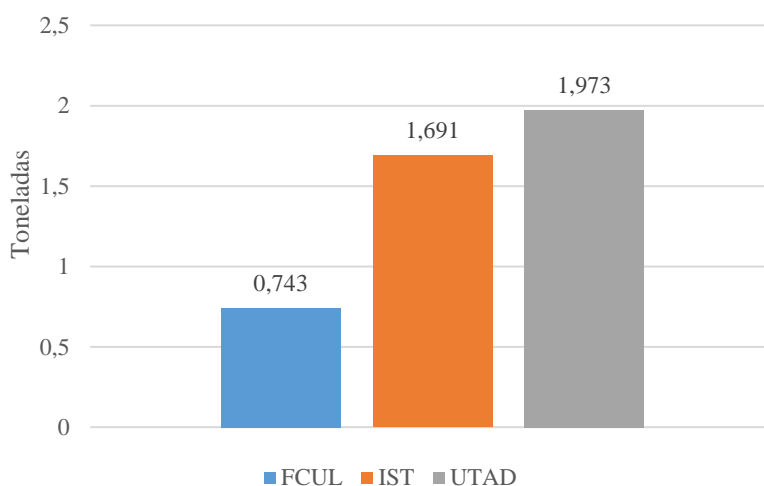


Gráfico 4.37 - Comparação das emissões de CO₂ *per capita* num ano (toneladas/ano).

4.7 Cenários Alternativos

A poluição atmosférica está associada a uma contaminação do ar por qualquer substância, que dada a sua concentração, pode tornar-se nocivo para o meio ambiente ou para a saúde pública. Deste modo, é importante ter conhecimento dos níveis de qualidade do ar através da quantificação de poluentes presentes, principalmente nas grandes cidades, em que os níveis são normalmente maiores.

Na realização desta dissertação foram criados também cenários alternativos para verificar se existe uma variação da quantidade de poluentes emitidos no final de um ano por pessoa. Através do software COPERT, versão 5, foi possível calcular as emissões para o método *Tier 3*, referido anteriormente, tendo sido introduzido o número de utilizadores e de novas tecnologias nos veículos de transporte privado e coletivo. Também foi verificada a aplicação de um cenário de *carpooling* (quando o veículo particular é partilhado por duas ou mais pessoas cujos horários de viagens, origem e destino são similares ou

combinados, permitindo a redução de veículos privados). Os seguintes cenários criados baseiam-se sobretudo na frota, sendo eles:

- Renovação da frota de veículos privados e coletivos (tecnologia Euro V);
- Utilização do sistema *carpooling* e utilização do veículo coletivo rodoviário (tecnologia atual – Euro III);
- Utilização do sistema *carpooling* e utilização do veículo coletivo rodoviário (tecnologia nova – Euro V);
- Maior utilização do veículo coletivo rodoviário em 50 % e 100%.

4.7.1 Renovação da frota rodoviária (Cenário 1)

O presente cenário visa a substituição da frota dos veículos privados dos inquiridos, sejam eles a gasóleo ou gasolina, por uma tecnologia Euro V. Os veículos que apresentavam tecnologia superior não foram alterados. Para o veículo coletivo rodoviário foi substituído também de tecnologia Euro III para Euro V.

Na tabela seguinte podem-se verificar os valores *per capita* por ano.

Tabela 4.30 - Emissões de poluentes (kg/*percapita*) assumindo renovação de frota de ambos os transportes (Euro V) durante o ano letivo.

CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
5,035	0,132	13,708	0,053	0,059	4,1E-04	0,317

4.7.2 Sistema *carpooling* (Cenário 2.1 e 2.2)

Quando abordados sobre a possível utilização de um sistema de partilha de carros, 50% dos inquiridos respondeu positivamente, enquanto 22% não exclui a hipótese por completo. Para quantificar as emissões produzidas, foi feita uma redução da frota para metade, tendo em conta que cada condutor passaria a deslocar-se para o campus FCUL com outro colega, docente/investigador ou funcionário, havendo mais indivíduos por veículo. Os restantes continuariam a deslocar através do meio coletivo rodoviário. Para tal, este cenário pode dividir-se em duas vertentes, o cenário 2.1 - sistema *carpooling* com utilização do veículo coletivo atual (Euro III) (Tabela 4.31) e o cenário 2.2 - utilização do sistema *carpooling* com a utilização de uma frota renovada de veículos coletivos (Euro V)(Tabela 4.32).

De seguida são apresentadas as emissões obtidas para ambos os cenários.

Tabela 4.31 - Emissões de poluentes (kg/*percapita*) assumindo redução de frota por *carpooling* e transporte coletivo (Euro III) durante o ano letivo (Cenário 2.1).

CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
6,353	0,930	20,187	0,018	0,035	3,7E-04	0,661

Tabela 4.32 - Emissões de poluentes (kg/*percapita*) assumindo uma redução de frota por *carpooling* e transporte coletivo (Euro V) durante o ano letivo (Cenário 2.2).

CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
5,424	0,203	13,213	0,047	0,063	3,7E-04	0,322

4.7.3 Maior utilização de transportes coletivos (Cenário 3.1 e 3.2)

Nesta secção, foram criados dois cenários alternativos. O primeiro assume que 50% dos inquiridos que utilizam o meio de deslocação privado para o campus FCUL o substituem e passam a utilizar o autocarro com a tecnologia atual (Euro III) como meio de deslocação principal, independentemente do concelho de residência (cenário 3.1). O segundo caso assume que todos os indivíduos que utilizam carro para se dirigir ao campus o substitua por autocarro como meio de deslocação principal (cenário 3.2).

Tabela 4.33 - Emissões de poluentes (kg/*percapita*) assumindo que 50% dos inquiridos passa a utilizar autocarro (Euro III) durante o ano letivo (Cenário 3.1).

CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
3,239	0,435	14,738	0,010	0,008	2,2E-05	0,43

Tabela 4.34 - Emissões de poluentes (kg/*percapita*) assumindo que 100% dos inquiridos passa a utilizar autocarro (Euro III) durante o ano letivo (Cenário 3.2).

CO	COVNM	NO _x	N ₂ O	NH ₃	Pb	PM _{2,5}
2,848	0,401	15,254	0,008	0,006	1E-06	0,47

Para melhor compreensão dos dados acima descritos, são apresentados os valores em quilogramas *per capita* de cada tipo de poluente (CO, NO_x, COVNM, PM_{2,5}, N₂O, NH₃ e Pb) para os respetivos cenários, como se pode observar nos gráficos 4.38, 4.39 e 4.40.

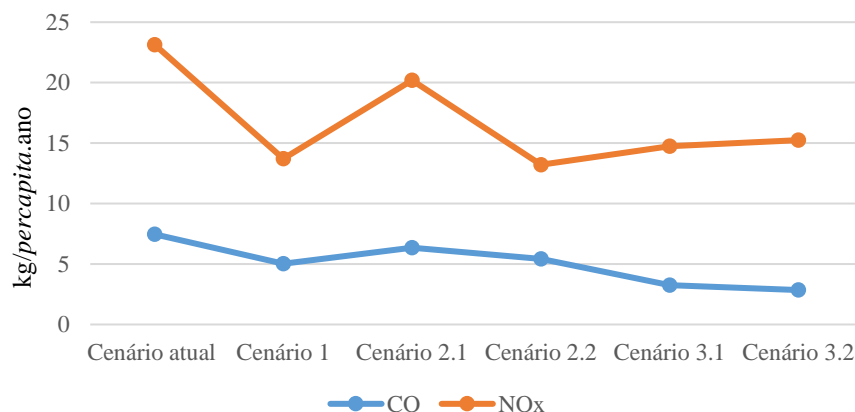


Gráfico 4.38 - Comparação entre os vários cenários para os respetivos poluentes CO e NO_x (kg/*percapita*) num ano.

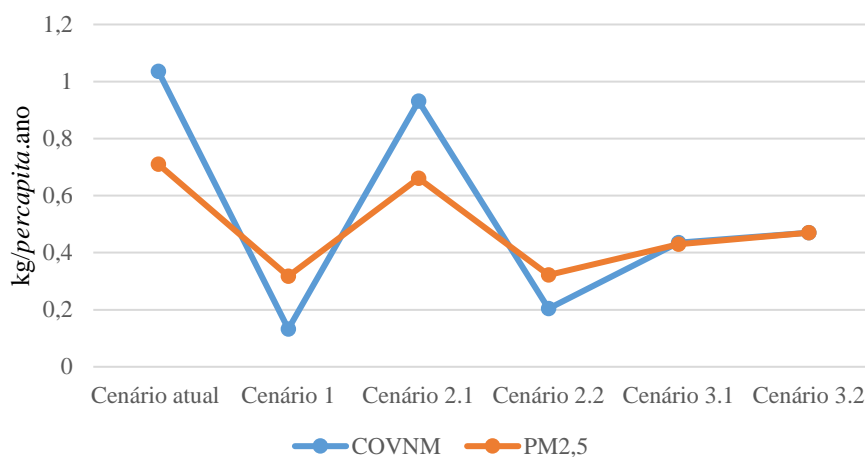


Gráfico 4.39 - Comparação entre os vários cenários para os respetivos poluentes COVNM e PM_{2,5} (kg/percapita) num ano.

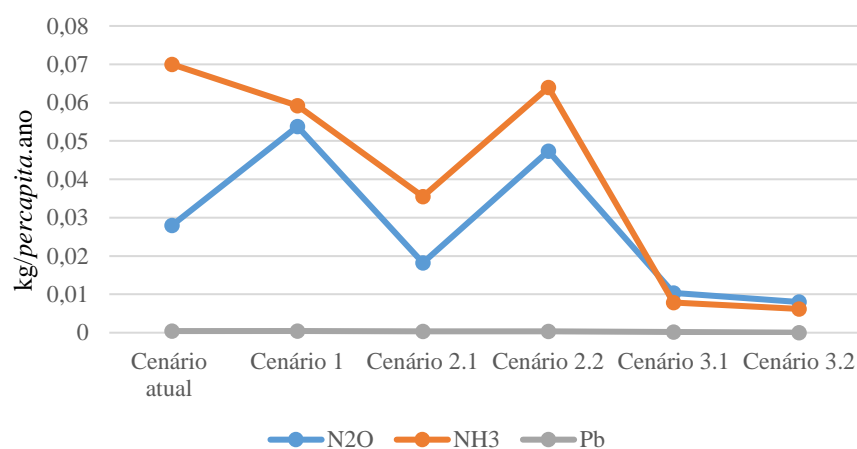


Gráfico 4.40 - Comparação entre os vários cenários para os respetivos poluentes N₂O, NH₃ e Pb (kg/percapita) num ano.

Capítulo 5 - Discussão de resultados

Com a conclusão dos inquéritos foi contabilizada uma amostra de 571 respostas, sendo que 17 tiveram de ser excluídos por falta de informação, por não cumprirem as regras de preenchimento do inquérito, obtendo-se uma taxa de resposta de cerca de 10% da população total do campus.

A população inquirida da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) é constituída por 54% de mulheres e 46% de homens.

A maioria dos inquiridos encontra-se na faixa etária dos 21 aos 25 anos de idade, representando 34% da amostra – Gráfico 4.2. Este dado confirma a maior prevalência de alunos no total de inquiridos, tal como se observa no Gráfico 4.3; dos 554 inquiridos, 311 são alunos, 65 são docentes, 102 são funcionários, 36 são investigadores e 40 são bolseiros. Neste universo da amostra, foi possível identificar um grupo populacional, os bolseiros, que, apesar de não terem sido considerados como objeto de estudo, foram considerados para a análise. Estes são indivíduos que trabalham na faculdade com uma bolsa de investigação, mas não são considerados investigadores do respetivo campus.

Dos alunos inquiridos, como se observa no Gráfico 4.4, mais de metade da população frequenta o 2º e 3º anos de licenciatura. Dos alunos, bolseiros, investigadores e docentes inquiridos, a maioria pertence ao Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Contudo, somando os dois departamentos de Biologia (Departamento de Biologia Animal e Departamento de Biologia Vegetal), que totalizam cerca de 30% da amostra, verifica-se que este é o departamento com maior representatividade.

A maioria dos inquiridos, cerca de 227, residem no concelho de Lisboa, representando 41 % da amostra. Foram ainda registados concelhos com apenas uma ou duas ocorrências: Arruda dos Vinhos, Carregado, Salvaterra de Magos, Sobral de Monte Agraço, Alpiarça, Azambuja, Cadaval, Cartaxo, Peniche, Benavente, Caldas da Rainha, Alcochete, Moita, Torres Vedras e Corroios.

A maioria das famílias é constituída por 4 pessoas no seu agregado e a maioria dos agregados familiares possui apenas 1 carro.

O número de total de inquiridos mais o seu agregado familiar perfaz um total de 1 708 pessoas com 946 carros no total. Após aplicação da fórmula acima descrita, é possível averiguar que o índice de motorização é de 553,86/1000 habitantes.

Podemos ver que 70% dos inquiridos que leva o carro para a faculdade não transporta mais nenhum passageiro. Do mesmo modo, podemos também verificar que nenhum condutor leva 4 passageiros, ou seja, o veículo completo. Realço ainda que a taxa média de ocupação de passageiros por carro é de aproximadamente 1,34.

Pode-se verificar que o pico de chegada à faculdade é as nove horas da manhã e o pico de saída é às seis horas da tarde.

Para aferir um meio de transporte com maior taxa de utilização inquiriu-se a população acerca de quais os vários meios a que estas recorriam para se deslocarem até à faculdade. Podemos então verificar que a maioria da população da FCUL recorre aos transportes públicos (TP) como meio de transporte mais frequentemente utilizado, sendo o carro o segundo meio mais usado - Gráfico 4.12. Quanto aos transportes públicos, podemos constatar que o metro é o mais utilizado, representando uma quota de cerca de 44%.

Os alunos e funcionários utilizam mais os TP em comparação com os outros meios de transporte, sendo a frequência desta utilização mais predominante no caso dos alunos. Ao invés, podemos verificar que bolseiros, docentes e investigadores tomam maior partido do carro para se deslocarem para a faculdade, existindo uma predominância notável por parte dos docentes, com uma frequência de utilização superior a 60%. É também de salientar que os investigadores são a parcela que maior uso dá à bicicleta e que os estudantes são os que mais se deslocam a pé.

Com o intuito de perceber se a acessibilidade a transportes públicos seria um fator influenciador do meio de deslocação utilizado pelos inquiridos, isto é, se os residentes do concelho de Lisboa, Amadora e Odivelas – que são servidos por uma ampla rede de transportes públicos - fazem maior uso dos transportes públicos do que os residentes de outros concelhos com uma rede de transportes públicos menos eficiente, foi comparada a deslocação dos residentes do concelho de Lisboa, Amadora e Odivelas com a dos que residem fora destes concelhos, não tendo sido conclusiva esta análise. A utilização individual de TP e carro é semelhante entre residentes dos concelhos de Lisboa, Odivelas e Amadora e de concelhos exteriores. Contudo, os residentes de concelhos exteriores têm tendência a utilizar mais a combinação de transportes públicos e carro. Observa-se ainda a não utilização por parte destes indivíduos de bicicleta e circulação pedonal, devido à distância que os mesmos têm de percorrer.

Para estudar a relação do escalão do agregado familiar (valor do rendimento mensal bruto) com o meio de transporte utilizado, contruiu-se o gráfico 4.18. Neste estudo foram excluídos os alunos pois depreende-se que estes não estejam tão familiarizados com o assunto em questão.

É possível verificar que inquiridos com rendimentos superiores a 3710 euros têm tendência para utilizar o carro em vez de transportes públicos. Já o contrário também é possível verificar, apesar de não com tanta discrepância: pessoas com rendimentos até 1 060 euros utilizam mais os transportes públicos. A deslocação de bicicleta e a pé não demonstra grandes variações ao longo dos vários escalões, mantendo-se sempre baixa.

Com o resultado dos inquéritos conseguimos aferir uma frota de 207 veículos, divididos entre gasolina, gásóleo, GPL (gás de petróleo liquefeito), elétrico e híbrido.

Conforme podemos verificar, a abundância de veículos a gasolina e gásóleo é visível, sendo os valores bastantes equiparados.

A capacidade do motor é equivalente à soma de todas as capacidades dos cilindros, que varia de veículo para veículo. Em suma, a cilindrada mede a capacidade do motor, que pode ser medida em litros ou, com maior precisão, em centímetros cúbicos (cm³). Demonstrou-se as várias categorias dos carros a gasolina e gásóleo, respetivamente, consoante a sua cilindrada, podendo concluir-se que nos veículos a gasolina a frota é constituída maioritariamente por veículos de alta cilindrada - cerca de 54% - e que nos veículos a gásóleo se verifica uma elevada percentagem com cilindrada média (1,4L-2L) - cerca de 70%. A maioria dos inquiridos, quando questionados acerca da disposição para a utilização de alternativas ao seu transporte habitual, afirma considerar o recurso ao *Carpooling* como alternativa, para uma mobilidade sustentável. Quanto ao *Carsharing*, na generalidade os inquiridos não se mostraram interessados nesta alternativa, uma vez que, na sua maioria, não conheciam o conceito nem o encontram com facilidade quando residem fora do concelho de Lisboa.

Relativamente ao *Bikesharing*, a maioria dos inquiridos, 45%, mostrou-se recetível a esta alternativa, apesar das distâncias que teriam de percorrer. Em relação à compra de um veículo elétrico, 35% dos inquiridos referiram que não comprariam um, tendo sido apresentadas como razões principais o preço, falta de informação e poucos postos de abastecimento dos mesmos. A compra de um veículo autónomo, não é considerada uma alternativa viável para a maioria dos inquiridos, por considerarem ter um preço bastante elevado.

Quanto à possibilidade de serem transportados por um carro autónomo, 32% referiu que não se importaria, enquanto 39% não se mostrou disposto a tal, por haver falta de segurança, de fiabilidade e poucos estudos sobre os mesmos.

Na análise do transporte e das distâncias médias percorridas para a FCUL, tendo por base as distâncias percorridas no trajeto de ida e volta para o campus da faculdade, verifica-se que os transportes utilizados são: bicicleta, veículos convencionais, outros veículos (como GPL, híbridos e motociclos) e transportes públicos (tais como veículo coletivo rodoviário, transporte fluvial, comboio e metro).

Observando ao detalhe cada um destes transportes, verificamos que o uso da bicicleta é feito de forma superficial, pois apenas 1% dos inquiridos referiu usar este meio de transporte. Apesar do número reduzido de utilizadores deste meio de transporte, sabe-se que este é o meio mais sustentável em comparação com todos os outros referidos pelos inquiridos, e é ainda um meio de transporte mais eficiente comparativamente ao meio pedonal. Este meio de transporte tem, no entanto, várias desvantagens, uma vez que não permite deslocações alargadas e está associado a um esforço físico elevado. Na análise ao meio de transporte veículos convencionais, verifica-se que 23% dos inquiridos utilizam este meio para se deslocarem até à FCUL, e que, destes, 53,8% utiliza veículos a gasóleo. Este facto está correlacionado com os km feitos pelos indivíduos. Segundo o ACP, quando são percorridos longos trajetos ou muitos quilómetros no dia-a-dia, o combustível gasóleo será a escolha ideal. Um automóvel a gasóleo tem um preço superior na compra, contudo, os consumos são ligeiramente menores e o combustível é mais acessível [77]. Em relação aos “outros veículos”, observa-se que a sua utilização não é muito comum, representando apenas 0,9% da amostra total.

Verifica-se que o meio transportes públicos é um dos meios mais utilizados pelos inquiridos, no entanto, este meio está normalmente associado a outro. Observa-se que a maioria dos inquiridos utiliza este meio para percursos mais longos, sendo que o veículo coletivo rodoviário percorre em média 26,8 km/dia. Na análise do meio de transporte público - transporte fluvial - verifica-se que o seu uso está sempre correlacionado com outro meio, e destina-se a indivíduos que residam nos concelhos localizados na Península de Setúbal, sendo que a travessia é constituída apenas por 9 km para cada uma das margens. Observa-se que a par do meio de transporte fluvial, também as deslocações através de comboio, utilizadas por uma elevada percentagem de inquiridos, estão quase sempre associadas a outro meio de transporte, no entanto, verifica-se que os indivíduos que utilizam este meio percorrem mais km por dia.

Relativamente ao meio de transporte metropolitano, verifica-se que este transporte está quase sempre associado a outro meio, sendo a percentagem de inquiridos que utiliza este transporte superior a 46% e o percurso percorrido menor do que na maioria dos outros meios de deslocação.

Na análise das emissões de CO₂ produzidas pelos inquiridos, utilizou-se como base para o estudo dois veículos que representam a moda (o valor que ocorre com mais frequência ou o valor mais comum em um conjunto de dados), tanto para veículos a gasolina como para veículos a gasóleo. São eles o Honda Jazz 1,2L (0,053 l/km - consumo médio), do ano 2005, e para os veículos a gasóleo, o Volkswagen golf 1,6L (0,039 l/km - consumo médio), do ano 2013, em consumo combinado. Tendo por base de estudo os dados do relatório da Agência Europeia do Ambiente, para o cálculo de gramas de dióxido de carbono por km, procedeu-se à comparação dos valores de emissão média em Portugal com os valores obtidos através da equação (3.16), para os carros definidos acima. Verificou-se, assim, que para os veículos a gasolina apresentam um valor ligeiramente superior em relação ao apresentado no relatório da AEA, porém, os veículos a gasóleo apresentam um valor inferior ao apresentado no relatório. Para a análise das emissões de CO₂ produzidas por transportes públicos, verifica-se que o transporte autocarro é o que produz maior emissão de CO₂, enquanto o barco é o transporte que produz menor emissão de CO₂. Apesar destes resultados, verifica-se que o metro é o meio de transporte que apresenta menor emissão de CO₂ por utilizador, em comparação com os transportes autocarro e comboio, visto que o transporte fluvial não poderá ser considerado como alternativa viável de transporte para a maior parte da amostra do campus da FCUL.

No cálculo do consumo energético, foram tidos em conta os mesmos veículos acima descritos, pela mesma razão. Observa-se que, tendo em conta o consumo energético por pessoa por ano, todos os

transportes públicos apresentam um valor mais baixo de consumo energético do que qualquer veículo privado.

Para a análise de outros poluentes, foi utilizada a metodologia baseada em *Tiers*, verificando-se que o *Tier 3* é a metodologia mais viável para este estudo, uma vez que contém mais fatores para um cálculo mais eficaz e preciso de emissões, tendo em conta os dados recolhidos anteriormente. Após a comparação das três metodologias para o cálculo dos outros poluentes, pode-se verificar que o *Tier 1* é o método mais simples, apresentando valores bastante altos relativamente aos restantes *Tiers*. No caso do *Tier 2*, esta metodologia apresenta valores mais baixos que o *Tier 1*, uma vez que tem em conta mais fatores. No entanto, apresenta valores mais altos que o *Tier 3*, uma vez que não tem tantos *inputs* associados, logo não tão específico.

Observa-se nesta análise que o *Tier 3* é ainda o que apresenta emissões mais baixas, o que se deve ao facto de conter mais fatores.

Na análise de emissões de CO₂ e outros poluentes, foram ainda tidas em conta as análises feitas para outras duas instituições, de forma a comparar as emissões obtidas nesta dissertação. Verifica-se que para o CO₂, a UTAD, emissões totais do campus, apresenta valores mais elevados em comparação com as outras duas instituições (cerca de 62% mais que a FCUL e 14% mais que o IST), devendo-se este facto ao excesso de utilização de veículos próprios, uma vez que não existe nas imediações do campus nem rede ferroviária nem metropolitana.

Avaliando os gráficos 4.38, 4.39 e 4.40, onde são apresentados os valores em quilogramas *per capita* de cada tipo de poluente (CO, NO_x, COVNM, PM_{2,5}, N₂O, NH₃ e Pb) para os vários cenários apresentados, comparando com as emissões calculadas para as emissões do campus da FCUL.

Para o poluente CO pode-se observar uma descida de emissões para todos os cenários, tendo uma variação de 14-63%. Neste caso, o melhor cenário é a utilização de 100% os transportes coletivos e o pior o conjunto da redução de frota por *carpooling* e transporte coletivo Euro III.

O poluente NO_x apresenta descidas bastante acentuadas para praticamente todos os cenários, podendo averiguar-se que o melhor cenário para este poluente seria a aplicação da renovação da frota tanto para o transporte individual como para o coletivo rodoviário, ocorrendo a redução de cerca de 10 kg *per capita* durante um ano, cerca de 40%.

Analisando os poluentes PM_{2,5} e COVNM pode-se verificar uma maior descida deste poluente nos cenários cenário 1 e 2.2, onde existe uma renovação da frota do transporte coletivo de Euro III para Euro V, com autocarros mais recentes e eficientes. Para a matéria particulada verificam-se também valores mais positivos se 50% dos inquiridos substituir o seu transporte privado por autocarro (Euro III), sendo este o cenário mais realista com uma diminuição de cerca de 39% nas suas emissões.

Para os poluentes N₂O e NH₃ pode-se observar que os melhores resultados se encontram nos cenários 3.1 e 3.2. Verifica-se aqui, uma maior utilização dos transportes públicos, visto que para uma utilização de 100% dos mesmos se observa uma redução de 71% e 91%, respetivamente.

Por último, o Pb não apresenta modificações significativas sendo as suas emissões praticamente nulas em ambos os cenários.

Numa avaliação geral de todos os cenários demonstrados, comprova-se que todos apresentam notáveis descidas nas emissões de poluentes. Os mais vantajosos seriam uma renovação da frota de todos os veículos, tanto transporte coletivo como privado, e uma maior utilização dos transportes públicos. Porém, a renovação da frota de veículos privados está ligada a grandes custos económicos para os utilizadores, o que a pode tornar inviável. A utilização de 100% dos transportes públicos seria o cenário ideal. No entanto, nem todos os indivíduos se apresentam abrangidos por esses serviços. Por outro lado,

com mais incentivos e maior sensibilização para a utilização dos transportes públicos poderia haver uma redução bastante significativa nas emissões.

Os cenários mais realistas, numa perspetiva mais ampla, seriam a maior utilização da partilha de veículos (mais ocupantes por veículo) agregado ao uso dos transportes públicos atuais, apresentando assim uma redução de 15% de CO e de 13% para o NO_x. Se metade dos utilizadores decidisse mudar o seu meio de deslocação de automóvel para transporte coletivo atual, haveria uma redução de 56% para o poluente CO e 36% para o NO_x.

Capítulo 6 – Proposta de melhoria do sistema para uma mobilidade sustentável

Para promover um método de mobilidade sustentável é necessário intervir com algumas medidas para a utilização de modos suaves. Podemos, assim, dividir em três áreas de execução, sendo elas, o campus FCUL, operadores de transporte rodoviários e a Câmara Municipal de Lisboa.

6.1 Campus FCUL

6.1.1 Campanhas de sensibilização para a Importância de uma Prática de Mobilidade Sustentável nos Campus da FCUL

A realização de campanhas de sensibilização tem por base alertar e sensibilizar a comunidade académica para o problema em questão, incentivando-a a uma utilização mais consciente e ambientalmente sustentável. Sabendo que a informação é a base da boa conduta, é possível levar a uma mudança de atitude e mentalidade através da divulgação dos seus prós e contras. O tema em questão não é uma exceção, assim, se houver uma maior informação acerca da sua importância económica e ambiental com uma correta escolha de modos de transporte, seja a curto ou a longo prazo, poderá haver uma mudança de comportamentos e em particular na comunidade do campus, visto esta ser conhecedora do tema e ter por base da sua formação o estudo de questões ambientais.

6.1.2 Incentivo à utilização de sistemas de viagens em automóvel partilhado (*carpooling*, *carsharing*) e *bikesharing*

Hoje em dia, existem novos modos de transporte partilhados, como acontece com as bicicletas e carros, com interesse renovado no urbanismo e nas crescentes preocupações ambientais, energéticas e económicas, o que intensificou a necessidade de alternativas sustentáveis a um sistema de transporte centrado em automóveis particulares.

Estes serviços habilitados para a tecnologia estão a ajudar a preencher as lacunas de transporte, criando conexões com o transporte público, reduzindo o congestionamento do tráfego, os custos de transporte doméstico e as emissões nocivas de gases de efeito de estufa. Apresentam, no entanto, um desafio para as cidades, que se devem preparar e regular de forma rápida para as mudanças no ambiente de forma a garantir que o bem público seja mantido. Assim, para fornecer às cidades o apoio necessário, é preciso entender como estas novas oportunidades e desafios poderão ajudar futuramente. Tendo em conta as vantagens deste tipo de sistema, seria uma mais-valia para a comunidade da FCUL utilizar este tipo de transporte partilhado. Assim sendo, a implementação/criação de uma plataforma ou aplicação que facilitasse a coordenação dos transportes de e para a FCUL por parte desta comunidade seria um modo de incentivo à sua utilização.

A plataforma ou aplicação deveria funcionar da seguinte forma: cada utilizador deveria inserir os seus horários e trajetos de deslocação para o campus da FCUL, de forma a que outros pudessem ter acesso aos mesmos e pudessem verificar se algum dos trajetos partilhados respondia às suas necessidades. Assim, seria possível gerir as viagens partilhadas por veículo privado, de forma a criar um *carpooling* interno da FCUL, reduzindo o número de veículos que circula para a faculdade e aumentando o número de passageiros por veículo.

6.1.3 Aplicação de planeamento de viagens

Criação de uma aplicação onde se insere o local de partida e o destino final, calculando a melhor rota, assim como os melhores transportes a utilizar, tendo os horários destes, a cada momento, em tempo real. Este tipo de aplicações já existe em outras cidades europeias, facilitando não só a vida dos seus habitantes como a dos seus turistas.

6.2 Operadores de transportes rodoviários

6.2.1 Renovação da frota da Carris

Se houvesse uma renovação da frota com uma média de veículos Euro V (2010 a 2014) em vez de Euro III, como existe atualmente na frota da Carris, poder-se-ia observar que para o poluente monóxido de carbono haveria a diminuição de aproximadamente 17% num ano, e para o NO_x uma diminuição de aproximadamente 42 % num ano, nas deslocações para a FCUL.

Segundo a carris, haverá novo investimento em veículos com a abertura de um concurso para mais 33 autocarros mini, e ainda para a compra de veículos articulados para entrar em circulação em 2021. No investimento de renovação da frota está ainda incluída a aquisição de 15 elétricos, ainda para o ano de 2020 [78].

6.2.2 Melhoria dos transportes públicos

Apesar de na maioria das vezes o foco das câmaras e instituições governamentais passar por melhorar as estradas e condições rodoviárias, a verdade é que tal contribui para uma maior utilização de transportes particulares. Se esse foco mudasse e tivesse como objetivo a melhoria e ampliação da rede de transportes públicos, tais como novas paragens, novas linhas, novos horários, poderia levar a uma maior utilização dos transportes públicos por parte da comunidade e consequentemente diminuir os GEE e poluentes.

O investimento em novas tecnologias para melhoria do transporte público pode ser também uma opção. Vivemos numa era digital, em que os transportes públicos ficam muito aquém da maior parte dos transportes particulares (tais como Uber, BOLT e Kapten). A criação de uma aplicação que apresente em tempo real a localização de um transporte público rodoviário, a sua rota, horário e capacidade poderia marcar a diferença e levar a um maior interesse por parte da comunidade da FCUL.

6.2.3 Alargamento da área de atuação das empresas de *carsharing*

A maioria da amostra desta dissertação é proveniente do concelho de Lisboa, no entanto, existem outros concelhos que apresentam elevado número de indivíduos que frequentam o campus da FCUL. Como tal, uma proposta de alargamento da área abrangida pelo serviço de empresas de *carsharing* seria uma opção de possível redução de uso de veículos próprios. Podemos observar que a área máxima abrangida com o serviço de *carsharing* em Lisboa está delimitada da seguinte forma:

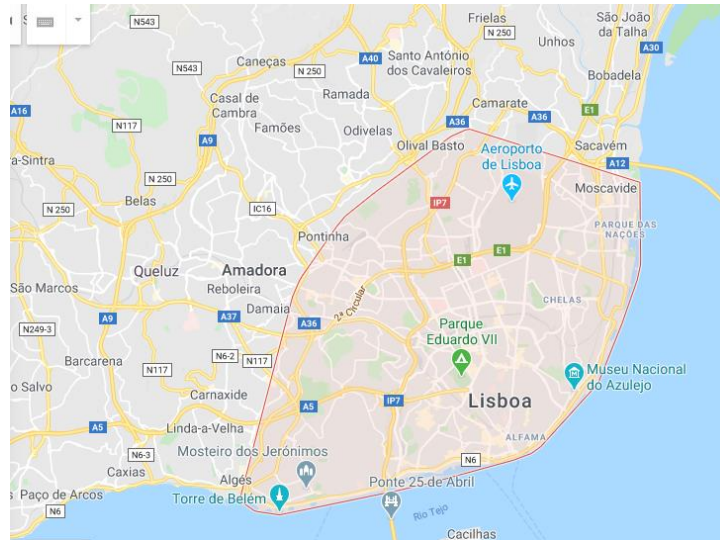


Figura 6.1 - Área de atuação das empresas de carsharing. Fonte: Google maps.

O mapa apresenta os locais onde existe o serviço de *carsharing*, sendo esta área a total do conjunto de todas as empresas existentes. A possibilidade de alargar este serviço permitiria não só aos residentes do concelho de Lisboa, mas também aos residentes deste distrito, uma deslocação mais facilitada a todos os níveis.

6.2.4 Maior incentivo a veículos elétricos / Mais postos de abastecimento e assistência

Observa-se um crescimento de interesse por parte da população acerca de questões ambientais e formas de redução de poluentes. A utilização de veículos elétricos é assim uma opção para a maioria, porém, o preço constitui ainda uma barreira, pois o investimento inicial para a aquisição de um veículo elétrico permanece ainda muito elevado. O carregamento das baterias é também um inconveniente devido à pouca existência de postos de carregamento de veículos elétricos, particularmente no interior do país. Assim, a criação de um maior incentivo à compra e a criação de mais postos de abastecimentos e de assistência é uma necessidade cada vez mais evidente. Os carros elétricos são ainda uma alternativa a veículos a combustão, dado o desenvolvimento tecnológico que se tem visto nos últimos anos face aos preços das baterias e autonomia dos veículos, maior eficiência e tempos de carregamento. Tudo razões que justificam o direcionamento para a compra de veículos 100% elétricos ou híbridos *plug-in*, que têm como principal característica zero emissões de CO₂, portanto mais ecológicos, o que permite uma maior mobilidade nos centros das cidades, por toda a Europa, onde tem sido restringido o uso de viaturas a combustão.

6.3 Câmara Municipal de Lisboa

6.3.1. Estacionamento mais caro

No inquérito realizado nesta dissertação foi questionado às pessoas que conduziam carro qual o local onde estacionavam o mesmo. Os resultados mostram que a maior parte da população estaciona dentro do campus - ou seja, professores e funcionários, uma vez que têm direito a este benefício -, enquanto os restantes inquiridos estacionam na sua maioria em parques pagos. Tal como podemos observar no Gráfico 6.1, 64% dos inquiridos afirma estacionar no parque de estacionamento da FCUL.

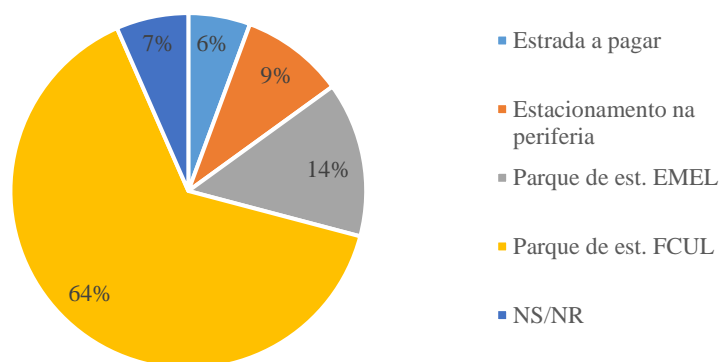


Gráfico 6.1 – Local de estacionamento dos inquiridos da FCUL.

Se o estacionamento da FCUL e restantes parques na proximidade tivessem preços mais elevados, iriam privar determinados utilizadores de poderem tão facilmente estacionar próximo da FCUL, fomentando a procura de outros modos de deslocação.

6.3.2. Rede de ciclovias

A criação e/ou ampliação das infraestruturas de apoio a redes pedonais e ciclovias e melhoramento da segurança nas redes já existentes irá permitir uma maior utilização nas deslocações diárias. Também a criação de postos de "Apoio ao utilizador", como casas de banho móveis, quiosques de apoio aos ciclistas para pequenos reparos (furos e outros inconvenientes) e pontos de venda de água/*snacks* irá contribuir para esse incremento.

6.3.3. Criar zonas de transporte de bicicletas nos comboios e nos autocarros

No decorrer dos anos, as empresas de transportes em Lisboa (Carris, CP, Fertagus, Transtejo e Metro) têm vindo a melhorar as suas infraestruturas em prol dos indivíduos que utilizam a bicicleta como meio de deslocação. Porém, ainda apresentam algumas limitações; por exemplo, a Carris só permite o transporte de bicicletas em apenas alguns autocarros, e a Transtejo faz depender o número de velocípedes transportados nas embarcações de acordo com a ligação e horário.

O modelo BiTiBi, programa da União Europeia, incentiva viajantes e passageiros a andar de bicicleta até à estação ferroviária, onde podem estacioná-la, continuando a sua viagem sem a bicicleta. Na estação de chegada, os viajantes devem usar uma bicicleta disponível para ser compartilhada publicamente até alcançar o seu destino [79].

Capítulo 7 - Conclusão

De acordo com o estudo realizado sobre a caracterização da mobilidade da população da FCUL e a avaliação do potencial para a redução de emissões, verificou-se que as pessoas utilizam diferentes tipos de transportes para a deslocação para a FCUL.

Nos últimos anos, a União Europeia está cada vez mais focada no desenvolvimento de transporte urbano, tendo introduzido legislação e diretrizes formais nesse sentido. Como resultado dessas atividades, existem muitos documentos estratégicos contendo metas de longo prazo para o transporte de passageiros e mercadorias e proteção do meio ambiente.

Tendo em conta o crescimento na utilização de transportes particulares, encontramos uma diversidade de problemas no trânsito da cidade de Lisboa, tais como congestionamentos frequentes, acidentes, poluição sonora, atmosférica, e muitos outros. A nível europeu, cerca de 7 500 quilómetros de estradas sofrem engarrafamentos [4] e tornam-se impossíveis de utilizar.

Não só para os cidadãos, como também para a economia da UE, este excesso de trânsito nas vias de deslocação é um aspeto negativo, já que o congestionamento nas estradas e aeroportos representa um acréscimo de 6% na fatura de combustível da UE [4].

Com o intuito de dar resposta a estes problemas, surge a necessidade de propor um modelo alternativo de mobilidade sustentável. Este modelo tem como objetivo principal a diminuição dos impactos no ambiente e o aumento da qualidade de vida dos cidadãos através de uma melhoria contínua das condições de deslocação, numa perspetiva de lógica sustentável.

Criar uma rede de transportes eficientes, bem articulada, é o objetivo de todas as cidades para que haja um maior volume e valor de exportações, criando assim maior empregabilidade [5].

O objetivo do presente estudo foi determinar a forma de mobilidade da população da FCUL, bem como a avaliação do potencial de redução de emissões. Atualmente, nas cidades, a maior parte das pessoas move-se com o seu transporte pessoal, o automóvel, contribuindo deste modo para o aumento da concentração de CO₂. Nos inquéritos realizados nesta dissertação, observa-se que 70% dos inquiridos que leva o carro para a faculdade não transportam mais nenhum passageiro. Podemos também verificar que nenhum condutor leva 4 passageiros, ou seja, o veículo completo. Realço ainda que a taxa média de ocupação de passageiros por carro é de aproximadamente 1,34.

Deve-se, assim, equacionar teoricamente o contexto em que tem evoluído a mobilidade urbana e as suas consequências em termos ambientais, de coesão social e de custos para a economia, e abordar os principais aspetos metodológicos envolventes.

Por outras palavras, deve prosseguir-se o objetivo de assegurar uma mobilidade sustentável, ou seja, criar as condições para que esta se possa exercer através de modos de transporte sustentáveis, cuja produção tenha os menores impactos possíveis sobre o ambiente. Para isso, é necessário o recurso a energias renováveis ou cada vez menos dependentes de recursos naturais esgotáveis, cuja utilização tem fortes impactos sobre o ambiente, com custos social e economicamente aceitáveis pela sociedade, e que garantam uma relativa equidade de acesso a toda a população.

Nesta dissertação foram tidas em conta as respostas possíveis, recolhidas através de inquéritos presenciais e online na FCUL. De referir que o número total de respostas não representa o cenário A, o cenário ideal proposto. A amostra deste estudo é composta por 554 indivíduos, dos quais 311 são alunos, 101 docentes/investigadores, 102 funcionários e 40 bolseiros, não tendo obtido os resultados esperados para alcançar o cenário A ($z=95\%$ e $e=2\%$), tal como previsto no início do estudo. Esta previsão era ideologicamente a mais correta, uma vez que representava a população de forma mais fiável. No entanto, a amostra obtida é similar ao cenário C ($z=90\%$ e $e=5\%$), tendo o número de respostas mais aproximado. A amostra relativamente aos alunos não é a mais conclusiva, uma vez que dos 5 159 alunos existentes apenas 311 responderam ao inquérito. Apesar do esforço feito para obter o máximo de respostas para a composição da amostra, pessoalmente ou através de e-mail institucional, não houve abertura por parte

dos alunos para a participação. Através das respostas obtidas foi possível retirar as conclusões esperadas, no entanto, as mesmas poderão não ser as mais significativas para a representação dos meios de deslocação para o campus da FCUL. Obteve-se, assim, um nível de confiança de 95%, com um erro associado de 5,4%.

Relativamente a docentes/investigadores, de uma amostra de 481 indivíduos, foram inquiridos 101. A disponibilidade demonstrada para a participação no estudo foi muito superior à demonstrada pelos alunos, havendo assim uma fiabilidade maior deste universo, com um nível de confiança de 95% e um erro associado de 8,7%.

No que respeita aos funcionários, os resultados foram bastante otimistas, uma vez que, em 161 indivíduos, 102 responderam ao inquérito. Este resultado deve-se ao facto de 100% destes inquéritos terem sido realizados presencialmente. O nível de confiança foi de 95% com um erro associado de 5,9%. Conclui-se que a amostra recolhida poderia ter tido uma maior expressão, mas tal não foi possível, uma vez que os alunos não participaram de forma tão ativa como os restantes inquiridos. Tal poderá dever-se ao facto de o inquérito ter sido maioritariamente partilhado através de e-mail, o que não garante o preenchimento total do mesmo. Nos inquéritos presenciais, onde se verifica o oposto, vemos ainda que, a fiabilidade dos mesmos é notável apesar de ser em menor escala.

Quanto às emissões do campus da FCUL, conseguimos observar que, em relação à metodologia de *Tiers*, quanto mais elevada (mais sofisticada), verifica-se consequentemente uma diminuição nas emissões. Isto deve-se aos *inputs* acrescentados para cada *Tier*, que permite assim um cálculo mais pormenorizado das emissões produzidas pelos transportes utilizados para as suas deslocações. Para o poluente CO, comparando as metodologias *Tier 1* com a *Tier 3* pode observar-se uma diferença de 51%, também o poluente NO_x, apresenta uma descida de 48%.

Uma vez que o *Tier 3* apresenta um cálculo mais pormenorizado das emissões a partir das deslocações pendulares dos inquiridos para a FCUL, podem-se observar os valores de emissão para os seguintes poluentes: CO, NO_x, COVNM, PM_{2,5}, N₂O, NH₃ e Pb, num impacto global em toneladas e por pessoa num ano letivo. Para o poluente CO obteve-se um total 3,15 toneladas por ano, equivalente a 7,5 kg *per capita*, enquanto os óxidos de azoto apresentaram um valor de 9,7 toneladas por ano, correspondente a cerca de 23 kg *per capita*. Para a matéria particulada, obtiveram-se 0,3 toneladas num ano, ou seja, 0,7 kg *per capita*. No que diz respeito ao COVNM, este teve uma taxa de emissão de cerca de 0,4 toneladas num ano, equivalente a 1 kg *per capita*. Quanto ao N₂O e NH₃ foram emitidos 0,01 e 0,03 toneladas num ano, respetivamente cerca de 0,02 e 0,07 kg *per capita*. Finalmente, o chumbo apresenta um total de 0,18 kg num ano e cerca de 0,42 gramas *per capita*.

Em comparação com o Instituto Superior Técnico, podemos observar que as emissões desta instituição são bastante mais elevadas no poluente CO, uma vez que a frota automóvel composta por todos os cursos averiguados é constituída por 53% de veículos a gasolina e 47% de veículos a gasóleo. Isto deve-se à combustão com temperaturas mais baixas dos motores a gasolina. Pelo contrário, observa-se que o campus da FCUL produz maiores quantidades de NO_x e matéria particulada, por causa das temperaturas de combustão mais altas dos motores a gasóleo, o que se deve à maior presença de motores a gasóleo (54%) comparativamente ao que sucede no IST.

Em relação às emissões de CO₂ e outros poluentes, totais e *per capita* num ano letivo, procedeu-se à comparação destes entre a FCUL, a UTAD e o IST. Os valores de CO₂ de todos os campus foram calculados através de métodos numéricos usando fatores de emissões específicos, obtendo-se assim os valores em toneladas de CO₂, total do campus e por pessoa num ano, 221 dias. Avaliando os valores totais dos campus, pode-se observar que a UTAD apresenta valores superiores, cerca de 62% mais que a FCUL e 14 % mais que o IST. Também se pode verificar que a FCUL é o campus que emite menos, o correspondente a cerca de 0,7 tonCO₂ *per capita*, seguido do IST que apresenta 1,7 tonCO₂ *per capita*, e por último a UTAD com cerca 2 tonCO₂ *per capita*.

Verifica-se que os valores do campus da UTAD são muito superiores, uma vez que, nas suas deslocações periódicas, os inquiridos usam muito o veículo próprio (mais de 51%). O transporte individual, é responsável pela emissão num ano por todo o campus, de 1,8 tonCO₂ *per capita*, mais de 90% das emissões globais para o campus. A UTAD localiza-se na zona de Vila Real, não possuindo nem área metropolitana nem ferroviária, daí o uso intensivo de veículo próprio para as deslocações realizadas.

No decorrer desta dissertação, foram apresentados alguns cenários para observar se ao haver uma mudança no comportamento dos inquiridos e na renovação da frota poderia haver variações nas emissões. Pode comprovar-se que com a aplicação dos cenários houve uma redução para todos os poluentes.

Em relação ao cenário 2.1, se houvesse uma partilha de a maior utilização da partilha de veículos (mais ocupantes por veículo) agregado ao uso dos transportes públicos atuais poderíamos obter uma descida dos valores dos poluentes de 7 a 57%. Vendo pormenorizadamente cada poluente podemos concluir que:

- Para o poluente CO verifica-se uma redução de 15%;
- O poluente NO_x sofreu uma diminuição na ordem dos 13%;
- Quanto às emissões de COVNM, observa-se um decréscimo de 10%;
- Quanto ao N₂O, observa-se um decréscimo de 35%;
- Para o poluente NH₃ constata-se a maior descida na ordem dos 57%;
- Quanto à matéria particulada, verifica-se uma redução de 7%.

No que diz respeito ao cenário 3.1, maior utilização dos transportes públicos, cerca de metade mudaria o seu meio de deslocação privado, cenário também exequível, pode-se verificar uma redução das emissões para todos os poluentes. Vendo ao detalhe cada poluente podemos verificar que:

- Para o poluente CO verifica-se uma redução de 56%;
- Para o poluente NO_x sofreu uma diminuição na ordem dos 36%;
- Quanto às emissões de COVNM, observa-se um decréscimo de 58%;
- Quanto ao N₂O, observa-se um decréscimo de 62%;
- Para o poluente NH₃ constata-se a maior descida na ordem dos 87%;
- Por último, a matéria particulada, verifica-se uma redução de 39%.

Estes cenários poderão ser os mais exequíveis, e com a prática dos mesmos, conseguirão reduzir-se as emissões anuais para todos os poluentes.

Para um melhor acompanhamento e perceção de mobilidade/meio de deslocação do universo do campus, e cálculo das emissões da FCUL, seria interessante que no início de cada ano letivo fosse requerido a alunos, docentes/investigadores e funcionários o preenchimento de um pequeno inquérito presencial acerca deste mesmo tema, questionando quantos quilómetros são feitos por cada tipo de transporte, entre outras. Este inquérito ajudaria a comparar a evolução da mobilidade sustentável, assim como, naturalmente, as emissões produzidas pela FCUL.

Ter um planeta sustentável, hoje e futuramente, implica desenvolver e adotar uma Mobilidade Sustentável.

Referências Bibliográficas

- [1] E. Derobert *et al.*, *World Business Council for Sustainable Development About the WBCSD*. 2002.
- [2] B. Elzen, F. W. Geels, and K. Green, *System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory, Evidence and Policy*. 2004.
- [3] INE - Instituto Nacional de Estatística [National Statistics Institute in Portuguese], “Mobilidade territorial,” pp. 31–37.
- [4] Comissão Europeia, “A Europa numa Encruzilhada. A necessidade de transportes sustentáveis,” 2003.
- [5] ENEI, “Estratégia Nacional de Investigação e Inovação para uma especialização inteligente 2014-2020 - Eixo 3: Mobilidade, Transporte e Logística,” p. 10, 2014.
- [6] E. Nederhoff, *Transport Energy and CO₂: Moving towards Sustainability - Books - OECD iLibrary*. 2009.
- [7] “Conferência da ONU sobre Alterações Climáticas.” [Online]. Disponível em: <https://unric.org/pt/mundo-espera-solucao-para-alteracoes-climaticas-diz-ban-ki-moon-7/>.
- [8] “Mobilidade Urbana europeia - Contexto da política,” *Comissão Eur. / Mobilidade Urbana Eur.*, pp. 5–13, 2017.
- [9] M. Jha, H. G. Ogallo, and O. Owolabia, “A Quantitative Analysis of Sustainability and Green Transportation Initiatives in Highway Design and Maintenance,” vol. 111, pp. 1185–1194, 2014.
- [10] C.-I. Hsu and H.-M. Wang, “Strategies for Green Transportation while Preserving Mobility and Accessibility: A Case Study of Taipei City,” *J. Urban Plan. Dev.*, vol. 142, no. 1, pp. 1–9, 2016.
- [11] A. Galanis, A. Siapos, N. Eliou, V. Profillidis, and G. Botzoris, “Economic crisis and promotion of sustainable transportation: A case survey in the city of Volos, Greece,” vol. 24, pp. 241–249, 2017.
- [12] A. Patlins, “Improvement of Sustainability Definition Facilitating Sustainable Development of Public Transport System,” *Procedia Eng.*, p. 6, 2017.
- [13] S. A. R. Keila Rodrigues De Moura, “Carpooling como uma alternativa para melhoria do trânsito: aceitabilidade e características dos possíveis usuários,” *Tekhne e Logos, Botucatu*, pp. 154–168, 2013.
- [14] T. Litman, “Evaluating Carsharing Benefits,” vol. 1702, no. 1, pp. 31–35, 2000.
- [15] S. A. Shaheen, A. P. Cohen, and M. S. Chung, “North American carsharing: 10-year retrospective,” *Transp. Res. Rec.*, pp. 35–44, 2009.
- [16] S. Shaheen, A. Cohen, and M. Jaffee, “‘Innovative Mobility Carsharing Outlook: Carsharing Market Overview, Analysis, and Trends.’ - .” *Transportation Sustainability Research Center, Labour Mark. Trends Bulg. CEE Reg. – Implic. Perspect. Conf. May 22, 2013, Sofia, Bulg.*, pp. 119–159, 2014.
- [17] “Drive Now.” [Online]. Disponível em: <https://www.drive-now.com/pt/en/lisbon>. [Acedido: 02-Jan-2020].
- [18] “Carsharing - Serviços existentes em Portugal.” [Online]. Disponível em: <https://www.motor24.pt/sites/autosport/carsharing-servicos-existem-portugal/371719/>. [Acedido: 02-Jan-2020].
- [19] “Emov.” [Online]. Disponível em: <https://www.emov.eco/lisboa/?lang=pt-pt>. [Acedido: 02-Jan-2020].
- [20] S. Shaheen, A. Bansal, and N. Chan, “Mobility and the Sharing Economy: Industry Developments and Early Understanding of Impacts,” p. 16, 2017.
- [21] L. Caetano and M. Beja, “Consultoria e Investigação em Mobilidade e Transportes: Sistemas de Bike Sharing – O caso das Bugas de Aveiro,” 2015.
- [22] “GIRA - Bicicletas de Lisboa.” [Online]. Disponível em: <https://www.gira-bicicletasdelisboa.pt/perguntas-frequentes/>. [Acedido: 14-Dec-2019].
- [23] F. Wefering, S. Rupprecht, S. Bührmann, S. Böhler-Baedeker, and Rupprecht Consult, “Developing and implementing a sustainable urban mobility plan,” p. 150, 2014.
- [24] S. Böhler-Baedeker, M. Merforth, C. Kost, M. Merforth, and K. Kumar, “Urban Mobility Plans National Approaches and Local Practice,” *Giz*, p. 86, 2014.
- [25] “What is BRT systems?” [Online]. Disponível em: <https://www.itdp.org/library/standards-and->

- guides/the-bus-rapid-transit-standard/what-is-brt/. [Acedido: 12-Feb-2017].
- [26] M. Kiba-Janiak and J. Witkowski, “Sustainable urban mobility plans: How do they work?,” *Sustain.*, vol. 11, no. 17, p. 15, 2019.
- [27] M. Enoch, *Sustainable Transport, Mobility Management and Travel Plans*. 2016.
- [28] “Pollutants Vehicles Emit.” [Online]. Disponível em: <http://www.bcairquality.ca/topics/vehicle-pollutants.html>. [Acedido: 04-May-2017].
- [29] “‘Monóxido de Carbono’ Saúde total.” [Online]. Disponível em: <http://saudetotal.org.br/artigos/meioambiente/poluicao/spdoencpol.asp>. Acedido em 19/12/2016. [Acedido: 09-Feb-2017].
- [30] “‘Transportation is the largest single source of air pollution in the USA’.”
- [31] L. Alves, “Impacto da Poluição Atmosférica Sobre a Saúde Humana Curso de Operacionalização de,” 2008.
- [32] “‘Impacto da Poluição Atmosférica Sobre a Saúde Humana.’” [Online]. Disponível em: http://www.saude.rs.gov.br/upload/1356093693_Impacto da poluicao atmosferica sobre a saude humana -RS.pdf. Acedido em 19/12/2016. [Acedido: 09-Feb-2017].
- [33] P. F. Nelson, A. R. Tibbett, and S. J. Day, “Effects of vehicle type and fuel quality on real world toxic emissions from diesel vehicles,” *Atmos. Environ.*, 2008.
- [34] H. Schaefer, “On the Causes and Consequences of Recent Trends in Atmospheric Methane,” *Curr. Clim. Chang. Reports*, pp. 259–274, 2019.
- [35] S. De Cara, M. Houzé, and P. A. Jayet, “Methane and nitrous oxide emissions from agriculture in the EU: A spatial assessment of sources and abatement costs,” *Environ. Resour. Econ.*, vol. 32, no. 4, pp. 551–583, 2005.
- [36] A. R. Ravishankara, J. S. Daniel, and R. W. Portmann, “Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century,” vol. 326, no. 5949, pp. 123–125, 2009.
- [37] D. S. Reay *et al.*, “Global agriculture and nitrous oxide emissions,” *Nat. Clim. Chang.*, vol. 2, no. 6, pp. 410–416, 2012.
- [38] O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, and E. Farahani, “Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change,” *IPCC*, 2014.
- [39] European Energy Agency, “Final energy consumption by sector and fuel,” *Indic. Assess. / Data maps*, p. 20, 2020.
- [40] “Fuel efficiency improvements of new cars in Europe slowed in 2016,” *Eur. Environ. Agency*, pp. 1–4, 2017.
- [41] “Em dois anos, 2016 e 2017, portugal foi o país da união europeia com menores emissões de CO₂ dos automóveis novos,” *ZERO*, 2019. [Online]. Disponível em: <https://zero.org/em-dois-anos-2016-e-2017-portugal-foi-o-pais-da-uniao-europeia-com-menores-emissoes-de-co2-dos-automoveis-novos/>. [Acedido: 03-Apr-2020].
- [42] “Average CO₂ emissions per km from new passenger cars,” *Eurostat - Statistics Explained*. [Online]. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_12_30/default/table?lang=en.
- [43] L. Ntziachristos and Z. Samaras, “EEA Guidebook for Emissions from Road Transport,” *EMEP/EEA air Pollut. Emiss. Invent. Guideb. 2016 Tech. Guid. to Prep. Natl. Emiss. Invent.*, pp. 1–153, 2016.
- [44] G. M. Dimitrios Gkatzoflias, Chariton Kouridis, “COPERT 4 v7.0,” no. January, p. 18, 2010.
- [45] R. O’Driscoll, H. M. ApSimon, T. Oxley, N. Molden, M. E. J. Stettler, and A. Thiagarajah, “A Portable Emissions Measurement System (PEMS) study of NO_x and primary NO₂ emissions from Euro 6 diesel passenger cars and comparison with COPERT emission factors,” *Atmos. Environ.*, vol. 145, no. 2, pp. 81–91, 2016.
- [46] “COPERT Manual.” [Online]. Disponível em: <https://copert.emisia.com/manual/>. [Acedido: 22-Jan-2020].
- [47] H. Ma, F. Balthasar, N. Tait, X. Riera-Palou, and A. Harrison, “A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles,” *Energy Policy*, vol. 44, pp. 160–173, 2012.
- [48] J. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*, McGrawHill. 1988.
- [49] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, and K. Ebrahimi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. .

- [50] “AUTONOMIE.” [Online]. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/modeling-and-simulation>.
- [51] “Passenger cars in the EU,” *Eurostat - Statistics Explained*, 2019.
- [52] PORDATA, “Índice de motorização.” [Online]. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Europa/Número+de+veículos+ligeiros+de+passageiros+por+mil+habitantes-3078>. [Acedido: 14-Feb-2019].
- [53] S. C. A. da Silva, L. M. M. L. Ramos, and R. J. e S. Bento, “Mobilidade Urbana Sustentável - O Campus da UTAD,” *Dep. Eng.*, vol. Mestrado, p. 125, 2009.
- [54] A. Faria, “Avaliação energética e ambiental das viagens pendulares de alunos do IST,” Instituto Superior Técnico, 2008.
- [55] “Using the Internet for Survey Research.” [Online]. Disponível em: <http://www.socresonline.org.uk/2/2/2/>. [Acedido: 08-Feb-2017].
- [56] INE, *Estatísticas do Ambiente : 2018 [EN: Environment Statistics : 2018]*. 2019.
- [57] J. Ferrão, D. Rodrigues, F. Vala, and J. F. Gomes, “Atlas da Área Metropolitana de Lisboa,” 2003.
- [58] M. Zhou, “STA 291, Section 001-006, Spring 2010, Prof. Zhou Formulas for Exam 2,” p. 645, 2010.
- [59] “Tamanho da amostra,” *Survey Monkey*. [Online]. Disponível em: <https://pt.surveymonkey.com/mp/sample-size/>. [Acedido: 12-Dec-2019].
- [60] “Honda Jazz 1.2 - Ficha técnica.” [Online]. Disponível em: <https://motoreu.com/pt/honda-jazz-1.2-consumo-ficha-tecnica-163368>. [Acedido: 01-Feb-2019].
- [61] “Dados Técnicos e Equipamentos,” *GOLF*, 2017.
- [62] “Just the Basics - Diesel Engine,” in *U.S. Department of Energy*, 2003, pp. 1–2.
- [63] “Massa Volúmica- Gasolina,” *Agência Portuguesa do Ambiente - Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases; Decreto-Lei nº 142/2010, de 31 de dezembro*, pp. 3–99, 2017.
- [64] “Poder Calorífico Inferior, Fator de Emissão e Fator de Oxidação,” *Agência Port. do Ambient. - Comércio Eur. Licenças Emiss.*, p. 1, 2013.
- [65] “Relatório de Sustentabilidade de 2017,” *Carris*, pp. 102–153, 2017.
- [66] R. D. L. C. Trozzi, “International maritime navigation, international inland navigation, national navigation (shipping), national fishing, military (shipping), and recreational boats,” *EMEP/EEA air Pollut. Emiss. Invent. Guideb.*, p. 26, 2016.
- [67] C. Trozzi and R. Vaccaro, “Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships,” *Proceeding 22nd CIMAC Int. Congr. Combust. Engines*, pp. 775–782, 2006.
- [68] “Amendments to the 2014 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (eedi) for new ships,” *Mar. Environ. Prot. Comm.*, vol. 9, no. 1, p. 9, 2016.
- [69] “Relatório de Sustentabilidade 2014,” *Grup. Transtejo*, pp. 16–24, 2014.
- [70] “Carris ‘Standard Buses.’” [Online]. Disponível em: <http://www.carris.pt/en/standard-buses/>.
- [71] “Resumo Climatológico Portugal - 2017,” *IMPA*. [Online]. Disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/>.
- [72] T. C. Pereira, T. Seabra, A. Pina, L. Freitas, and A. Amaro, “PORTUGUESE INFORMATIVE INVENTORY REPORT,” *Agência Port. do Ambient. I.P.*, 2014.
- [73] S. Hausberger and E. Bukvarevic, “Evaporative emissions of vehicles Final Report,” pp. 1–70, 2005.
- [74] J. J. Klemes, “*Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability*.” 2015.
- [75] “Relatório de Sustentabilidade 2017,” *CP – Comboios Port. E. P. E.*, pp. 82–84, 2017.
- [76] “Relatório de Sustentabilidade 2014,” *Metro - Transp. Lisboa*, pp. 18–22, 2014.
- [77] “Gasóleo, Escolha ideal?” [Online]. Disponível em: <https://www.acp.pt/automovel/comprar-carro-novo/gasolina-ou-gasoleo>.
- [78] “Carris.” [Online]. Disponível em: <http://www.carris.pt/pt/a-frota/>. [Acedido: 01-Feb-2020].
- [79] “BiTiBi - Final Report 2017,” *Intell. Energy Eur. Program. Eur. Union*, pp. 1–48, 2017.

Anexos

Anexo I

Inquérito

Mobilidade Sustentável da população FCUL

Venho solicitar a vossa colaboração no preenchimento deste inquérito, para desenvolvimento da minha tese de Mestrado em Engenharia da Energia e Ambiente, que consiste na caracterização de mobilidade da população de toda a FCUL.

O inquérito tem um **tempo estimado de 5 minutos** e é totalmente anónimo e a confidencialidade é garantida.

Agradeço a sua colaboração e tempo despendido.

1) Idade*

2) Sexo*

☐ Masculino

☐ Feminino

3) Função*

☐ Aluno

☐ Docente

☐ Funcionário

☐ Investigador

4) Nível de habilitações

5) Curso*

6) Departamento*

7) Área de serviço*

8) Ano*

Licenciatura	Mestrado	Mestrado Integrado	Doutoramento	Pós-Doutoramento
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9) Ano Académico (escolha múltipla)

1º, 2º, 3º, 4º, 5º

Residência em tempo de aulas

10) Concelho*

☐ Lisboa

☐ Loures

☐ Odivelas

- () Mafra
() Amadora
() Sintra
() Oeiras
() Outro – Escreva aqui: _____ *

11) Localidade*

12) Número de pessoas do seu agregado familiar (contando consigo) *

13) Por favor, indique o escalão do seu agregado familiar (valor bruto)?

- () Até 1430 euros
() De 1430 até 2870 euros
() De 2870 até 5715 euros
() Mais de 5715 euros
() NS/NR

Transporte

14) Meio de transporte utilizado para deslocação casa-FCUL? (selecione todas os meios de transporte utilizados) **Nota:** refira o tempo que anda a pé, caso seja mais de 10 minutos.
*

- [] Carro
[] Autocarro
[] Metro
[] Barco
[] Comboio
[] A pé
[] Bicicleta
[] Moto
[] Outro – Escreva aqui: _____ *

15) Por favor, indique o tempo (minutos) utilizado em cada um dos transportes no percurso de casa até à FCUL?

16) Poderia fazer o mesmo percurso casa-FCUL de bicicleta e/ou a pé?

17) Quanto tempo (minutos) demoraria se utilizasse unicamente o carro como meio de transporte?

18) Seu trajeto é direto? (exemplo levar/buscar filhos à escola)

- () Sim
() Não

19) Quanto tempo demoraria se utilizasse apenas transportes públicos? *

20) Em média, quantos quilómetros percorre no percurso casa-FCUL, com o seu meio de deslocação habitual?

21) Número total de carros no agregado familiar?

22) Indique a soma de km totais diários de todos os carros do seu agregado

23) Tem carro próprio? *

- () Sim
() Não

24) Marca/Modelo (do carro mais utilizado) *

25) Ano do carro*

26) Cilindrada

27) Tipo de combustível do veículo*

- ☐ Gasóleo
☐ Gasolina
☐ GPL
☐ Híbrido
☐ Elétrico
☐ Outro – Escreva aqui: _____ *

28) Viaja sozinho? *

- ☐ Sim
☐ Não

29) Em média, quantas pessoas viajam consigo? (incluído) *

30) Onde estaciona o carro?

- ☐ Estrada
☐ Estrada a pagar
☐ Parque de estacionamento EMEL
☐ Parque de estacionamento FCUL
☐ NS/NR

Transportes Públicos

31) Com que frequência utiliza os transportes públicos? *

- ☐ Diariamente
☐ 1 a 3 vezes por semana
☐ Algumas vezes por mês
☐ Apenas quando não tenho outra hipótese

32) Se houvesse uma maior frequência de transportes públicos na sua zona, estaria disposto a utilizá-los diariamente? *

- ☐ Sim
☐ Não
☐ Talvez

33) No transporte que utiliza, classifique o que considera mais importante (sendo 1 o menos importante e 10 o mais importante). Não poderá atribuir a mesma classificação a mais do que um aspeto*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Segurança	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pontualidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Preço	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conforto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tempo de Viagem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Frequência	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
Tempo de espera	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
Paragem perto do destino	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
Direto	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()

34) No transporte que utiliza, classifique a sua satisfação de acordo com os seguintes itens (Sendo 0 o menos satisfeito e 5 o mais satisfeito). *

Segurança	0	_____	[]	_____	5
Pontualidade	0	_____	[]	_____	5
Preço	0	_____	[]	_____	5
Conforto	0	_____	[]	_____	5
Tempo de viagem	0	_____	[]	_____	5
Frequência	0	_____	[]	_____	5
Tempo de espera	0	_____	[]	_____	5
Paragem perto do destino	0	_____	[]	_____	5

35) Qual das seguintes medidas poderiam melhorar as suas viagens dentro da cidade? (Poderá escolher mais que uma opção)

Melhoria nos transportes públicos

Preços mais baixos para os transportes públicos

Reduzir o número de lugares de estacionamento

Limites de velocidade mais baixos

Melhoria nos percursos para peões

Melhoria das ciclovias

Restrições de acesso em determinados horários

Restrições de acesso para certos tipos de veículos (por exemplo camiões)

Pagamento de portagens

Incentivos para compartilhamento de carros

36) Em geral, o que acha dos transportes da cidade de Lisboa?

() Muito bom

() Bom

() Satisfatório

() Mau

() Muito Mau

Outros

37) Normalmente, a que horas costuma chegar/sair da faculdade? (exemplo: 9)

Chegada _____

Partida _____

38) Em média, quantas vezes por semana se desloca para a FCUL? *

() Diariamente

() 1 a 3 vezes por semana

- ☐ Algumas vezes por mês
- ☐ Apenas quando não tenho outra hipótese

39) Compraria um carro elétrico hoje em dia? Considerando que o preço é 30% mais elevado do que o de um veículo de combustão?

- ☐ Sim
 - ☐ Não
 - ☐ Talvez
- Porquê?

40) Estaria disposto a fazer uma partilha de *carsharing* (alugar o carro pela quantidade de horas utilizadas)?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Talvez

41) Estaria disposto a fazer a utilizar o serviço *bikesharing* (aluguer de bicicletas, com posto ao longo da cidade)?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Talvez

42) Concordaria em ser transportado por um carro autónomo (conduzido por um computador, sem motorista)?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Talvez

43) E comprar um carro autónomo, em que não o poderia conduzir de modo algum?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Talvez

44) Estaria disposto a utilizar o serviço *carpooling* (veículo partilhado, para pessoas com o mesmo trajeto)?

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Talvez

Muito Obrigado!